

I

# **LA METEOROLOGIA Y ALGUNAS DE SUS APLICACIONES A LA AERONAUTICA**

Conferencia pronunciada en Madrid el día 30 de abril de 1962

por

**M . A . V I A U T**

Presidente de la Organización Meteorológica Mundial







# LA METEOROLOGIA Y ALGUNAS DE SUS APLICACIONES A LA AERONAUTICA

La Organización Meteorológica Mundial tiene tareas extremadamente variadas. Si no cabe duda que la Meteorología ha visto su magnífico desarrollo asociado al de la Aeronáutica, no es menos cierto que esta ciencia joven encuentra cada vez más aplicaciones en todos los terrenos.

Pero voy a tranquilizar a mi auditorio: no está en mi intención entrar en el detalle de cada uno de estos terrenos; por el contrario, deseo no alejarme demasiado de un objetivo concreto: la aplicación de la Meteorología a la Aeronáutica.

Séame permitido indicar, sin embargo, cómo el campo de acción de la Organización Meteorológica Mundial se extiende a diferentes ramas, muchas de las cuales tocan, por cierto, a la Aeronáutica. Por eso, recordaré brevemente las respectivas atribuciones de tres Comisiones Técnicas de la O. M. M. (Ver fig. 1 al final.)

Sólo citaré para recordar, las tres comisiones muy especializadas, que representan:

- La Comisión de Meteorología Marítima, encargada de la observación en el mar y de la protección de la navegación marítima.
- La Comisión de Meteorología Agrícola, encargada de todas las aplicaciones de la Meteorología a la Agricultura.
- Y, la última creada, la Comisión de Meteorología Hidrológica, encargada de las aplicaciones de la Meteorología a la Hidrología y al problema crucial del agua.

Insistiré más sobre la Comisión de Aerología, cuyas atribuciones se extienden de año en año. Es, en efecto, la competente en materia de investigaciones en Meteorología, y todos conocen el desarrollo adquirido por este dominio durante el curso de esta última década por el advenimiento de medios nuevos, tales como el calculador electrónico para el análisis y la previsión numérica del tiempo, o los satélites meteorológicos para la observación a nueva escala de nuestro planeta.

Un desarrollo semejante de los métodos y los medios de investigación se aplica a ramas extremadamente diversas, tales como la estructura de las nubes, la química atmosférica, la distribución vertical del ozono, la radiación o la previsión a largo plazo. La Meteorología, arrastrada por la corriente que conduce a la ciencia hacia regiones inexploradas, debe jugar allí un papel constantemente creciente. En la escala internacional, es la O. M. M. la que está llamada a unificar y coordinar esta acción; tal vez sea inducida a establecer, con este fin, un nuevo órgano más restringido que la Comisión de Aerología y orientado hacia la puesta a punto de un verdadero programa de investigaciones.

Otra Comisión Técnica, cuya importancia es capital para todo lo concerniente a la explotación meteorológica, es la Comisión de Meteorología sinóptica. Es a ella a quien incumbe, entre otras, las tareas de poner a punto los códigos internacionales, de reglamentar a escala mundial los problemas de las transmisiones meteorológicas y, en fin, establecer las redes de estaciones de observaciones en superficie y en altitud, teniendo en cuenta las necesidades generales y las expresadas por la OACI. Estas tareas tienen una aplicación directa a la Aeronáutica, de la que se hablará más adelante.

Quiero nombrar a continuación otra Comisión de Instrumentos y métodos de observación que trata de cuestiones relativas a los instrumentos, tanto desde el punto de vista de las características de sus calibrados, como de la precisión de las medidas y de las prácticas internacionales de observación. Aquí también aparece una aplicación a la Aeronáutica, en lo que concierne a las observaciones más especializadas necesarias a los aeródromos internacionales, como las de visibilidad o de altura de la base de las nubes.

En cuanto a la Comisión de Climatología, cuya misión es manejar los datos climatológicos, es evidente que está llamada a ocuparse de la climatología aeronáutica, tanto si se trata de Climatología de Aeródromos como de rutas aéreas.

En fin, llego a una VIII Comisión Técnica, que cito en último término, porque desearía extenderme un poco más detalladamente sobre ella. Se trata de la Comisión de Meteorología Aeronáutica, que tiene como misión estudiar las aplicaciones de la Meteorología a la Aeronáutica, así como los medios para satisfacer las necesidades meteorológicas de la Aeronáutica.

Tocamos aquí problemas comunes a la Meteorología y a la Aeronáutica. Una necesidad aparece rápidamente: la colaboración de la Organización Meteorológica Mundial con otra Institución especializada de las Naciones Unidas: la Organización de la Aviación Civil Internacional. Por colaboración debe entenderse no sólo las relaciones amis-

tosas de pura fórmula, sino una verdadera distribución de responsabilidades basada en "Convenios de trabajo", establecidos entre las dos Organizaciones. Tales convenios, largamente preparados, han sido aprobados en 1953 y, actualmente, van a ser objeto aún de algunas modificaciones.

La Meteorología constituye una de las "ayudas" a la Navegación Aérea Internacional. La OACI, encargada de asegurar una explotación segura, regular, económica y eficaz, debe expresar sus necesidades en Meteorología, necesidades que varían en función de la evolución de la Aeronáutica. La O. M. M., una vez en conocimiento de estas necesidades, establece entonces las redes de las estaciones meteorológicas, llamadas "redes de base" y estudia los medios técnicos que pueden seguirse en el terreno de la Meteorología.

Queda luego a ambas Organizaciones el promulgar los reglamentos y especificaciones relativas a la ayuda meteorológica a la Navegación Aérea Internacional. Es aquí donde intervienen las reuniones conjuntas entre los dos órganos respectivos de ambas organizaciones: la Comisión de Meteorología Aeronáutica de la O. M. M. y la División Meteorológica de la OACI. Este tipo de reunión se mantiene aproximadamente cada cuatro años; tal periodicidad es satisfactoria si se tiene en cuenta a la vez la evolución de las técnicas y la necesidad de cierta estabilidad de los reglamentos. Las decisiones tomadas son inmediatamente estudiadas y eventualmente promulgadas en el escalón ejecutivo, de una parte, por el Comité Ejecutivo de la O. M. M. y, de otra, por el Consejo de la OACI.

Como ustedes pueden comprobar, he desarrollado hasta aquí un aspecto general de la colaboración de la O. M. M. y de la OACI. Pero creo necesario subrayar también ciertos aspectos prácticos de esta colaboración de la que la más tangible me parece ser la organización en común de ciclos de estudios sobre problemas de la Meteorología Aeronáutica. Es así como el empleo de aeronaves que vuelan a altitudes cada vez más elevadas, plantea a la aviación problemas nuevos, en los cuales el elemento meteorológico es, quizá, más importante tanto en lo que concierne a la observación y el análisis de los fenómenos como a su previsión. Los ciclos de estudios regionales organizados en común sobre tales temas—pienso en los recientemente celebrados en El Cairo o en Nicosia—han permitido a los especialistas reunirse, trabajar juntos en las condiciones de la explotación, comparar sus métodos y discutir, bajo la dirección de consultores muy calificados, sobre los mejores métodos utilizables.

Dejaré a estos especialistas reintegrados a su lugar habitual de trabajo, el cuidado de proseguir la tarea, a la vez oscura y apasionante, de la protección aeronáutica.

Mi objetivo, en general, será poner en evidencia ciertos progresos bastante espectaculares realizados en estos últimos años en el terreno de las medidas de los elementos meteorológicos en altura: estas medidas interesan a las investigaciones, puesto que permitirán mejores conocimientos de la atmósfera y su circulación general. Igualmente conciernen a la Aeronáutica, pues un conocimiento mejor de la atmósfera y de su evolución representa para ella un sostén indispensable y mejores posibilidades de rendimiento de la explotación, tanto en el plan técnico como en el comercial.

Desde el momento en que el avión a reacción navega corrientemente en el límite superior de la estratosfera o de la baja estratosfera (10.000 a 12.000 metros), y a poco que el avión supersónico se lance hacia capas más elevadas (15.000 a 25.000 metros), se puede uno preguntar si las nociones clásicas de la Meteorología conservarán en el futuro todas sus aplicaciones.

Conviene, sin embargo, advertir que para alcanzar las altas capas de la atmósfera es preciso atravesar antes las capas inferiores perturbadas. Este franqueamiento debe, por supuesto, hacerse lo más rápidamente posible en consideración a las servidumbres propias de los aviones sometidos a difíciles pruebas y, especialmente, por su gran consumo de carburantes en las capas bajas de la atmósfera. Pero, para los aviones supersónicos, intervendrá otro fenómeno que tiende a disminuir la velocidad de franqueo de las capas bajas: es aquél del efecto sonoro llamado "detonación balística", que es engendrada por las ondas de choque producidas cuando el avión vuela a una velocidad superior a la del sonido.

Citemos a este respecto algunas cifras reveladas en un estudio realizado por la OACI; se calcula que un avión supersónico deberá volar a velocidad subsónica o a poca velocidad supersónica hasta alrededor de 12.000 metros, no debiendo ser alcanzada una velocidad de mach 2 hasta alrededor de 15.000 metros y una velocidad de crucero de mach 3, hasta prácticamente los 18.000 metros.

De estas observaciones sacaremos dos enseñanzas importantes: por una parte, es indispensable el conocimiento meteorológico de las bajas capas de la atmósfera, tanto para los aviones clásicos como para los rápidos; por otra parte, la Meteorología debe extender sin demora el campo de sus investigaciones hacia las capas superiores de la atmósfera.

Antes de considerar las condiciones meteorológicas particulares reinantes en los niveles que no serán atravesados más que por los aviones de muy especiales características, pasemos una rápida revista a los medios corrientes de investigación en altura de que disponen los meteorólogos.

Algunos de los procedimientos de medida, de casi treinta años de antigüedad y explotados en redes desde hace más de quince, son bien conocidos:

El radiosonda, minúscula estación meteorológica automática enganchada a un globo, transmite durante su ascensión la presión, la temperatura y la humedad cada 150 metros de elevación; es demasiado familiar para que describamos el funcionamiento y destaquemos sus méritos. Subrayemos, sin embargo, que la precisión de las medidas disminuye sensiblemente por encima de una quincena de kilómetros de altura, lo que obliga a una cierta reserva en cuanto al empleo de resultados obtenidos entre los 15 a 30 kilómetros de altitud y a que sean necesarios perfeccionamientos en la instrumentación.

No me extenderé sobre los otros aparatos que permiten medir la visibilidad (medidores de visibilidad), altura de las nubes (telémetro de nubes) o la detección de las células nubosas (radar panorámico), y que son de una gran utilidad para los aterrizajes, la subida a nivel de crucero o el descenso e incluso la ayuda meteorológica en ruta.

Por el contrario, insistiré aquí sobre la observación del viento, siendo primordial el conocimiento de este parámetro a cualquier altura para la determinación de las rutas óptimas.

La observación del viento se hacía por el radioteodolito, pero éste se encuentra poco a poco reemplazado por el radar, que da una precisión superior.

Uno y otro de estos aparatos permiten, como ustedes saben, seguir la trayectoria de un globo provisto de emisor o de un simple reflector y, en consecuencia, conocer la trayectoria, de donde se deduce la velocidad y la dirección de los vientos que arrastran al globo en las diversas altitudes de su recorrido.

La fuerza de los vientos al nivel de la tropopausa ha sido medida desde hace mucho tiempo; el estudio de los primeros resultados de los radiosondeos efectuados sobre el Atlántico por la nave meteorológica francesa "Carimaré", complementando los datos facilitados por el Centro Aerológico de Lindenberg (Alemania), y de Trappes (cerca de París), habían permitido escribir, en 1938, en colaboración con Mironovitch, que la subestratosfera y la estratosfera estaban lejos de presentar la calma que se les atribuía.

Conviene ante todo subrayar, que la rentabilidad de los vuelos comerciales, a cualquier nivel que sean efectuados, depende muy ampliamente de las corrientes aéreas y de su evolución.

Es indispensable determinar, antes de la salida del avión, no la ruta más corta kilométricamente, es decir, la ortodrómica, sino la ruta óptima, teniendo en cuenta los vientos, es decir, el camino que une los puntos de partidas y llegadas que el avión empleará el mínimo

de tiempo en recorrer. El método de determinación de la ruta de tiempo de vuelo mínimo, debido a dos meteorólogos franceses, Bessemoulin y Pône, se emplea ahora por todas las Compañías Aéreas. Está basado en el conocimiento del campo isobárico a diversos niveles, conocimiento que sólo hace posible una red suficientemente densa de radio-sondeos y una frecuencia razonable de medidas. Estas medidas son tan indispensables en las regiones oceánicas y desérticas como en las zonas pobladas; es por esto por lo que los meteorólogos insisten a las Compañías Aéreas para obtener observaciones de aeronaves necesarias para completar las lagunas de una red y cuyo mayor beneficio revierte, finalmente, a esas mismas compañías. No se debe perder de vista, en efecto, que el precio de la hora de vuelo de los aviones modernos alcanza cifras considerables y que la ganancia de varias decenas de minutos, que puede aportar la Meteorología por el conocimiento de los vientos en altura, representa una economía apreciable.

Una de las formas más conocidas de corrientes aéreas, que pueden ayudar o contrariar el vuelo de aviones de elevadas características, está constituida por lo que se llama la corriente en chorro, en inglés, "jet stream".

Los mapas y cortes de la atmósfera en que figuran las capas de velocidades iguales de las corrientes en chorro, hacen aparecer una zona central llamada núcleo, donde las velocidades son máximas. Este núcleo puede ser simple o doble o incluso triple; en sección presenta, generalmente, la forma de una elipse de gran eje horizontal. El chorro tiene, pues, el aspecto de un tubo aplastado presentando sinuosidades y, a veces, ramificaciones. (Ver fig. 2.)

La corriente en chorro más conocida en nuestras latitudes, está constituida por un tubo de vientos fuertes, soplando generalmente de Oeste a Este, sobre una longitud que puede alcanzar 4.000 kilómetros, pero sobre una anchura de sólo algunas centenas de kilómetros. La amplitud de la banda de velocidades superiores a 190 km/hora es, lo más frecuente, del orden de 200 kilómetros, siendo la altitud del núcleo de cerca de 9 a 10 kilómetros.

Igualmente existe en nuestras altitudes una corriente en chorro estratosférica, que se sitúa en alturas comprendidas entre 25 y 30 kilómetros.

Citemos, además, la corriente en chorro subtropical situada entre 10 y 15 kilómetros de altitud, pero cuya posición oscila generalmente en invierno entre los paralelos 20° Norte y 40° Norte. Esta corriente puede, pues, interesar, de vez en cuando, el sur de España.

Un estudio realizado en el Centro Meteorológico de Trappes (cerca de París), por el Ingeniero Barbe, ha dado resultados muy interesantes sobre la estructura de las "corrientes en chorro" y la circulación

en la alta atmósfera. El estudio ha sido garantizado con la ayuda de un radar francés de 10 cm. de longitud de onda, de persecución automática. Hasta 1957, las medidas no pasaban prácticamente los 20 kilómetros de altitud; han sido llevadas en seguida a 35 kilómetros para alcanzar los 40 kilómetros en 1961. Este estudio ha permitido interesantes comprobaciones sobre el perfil característico de las curvas respectivas de dirección y de velocidad del viento en función de la altitud. (Ver figs. 3 y 4.)

Los gráficos que han sido presentados demuestran la variabilidad de la circulación atmosférica con la altitud. Vamos a demostrar ahora cómo esta variación se efectúa también con el tiempo. (Ver figs. 5, 6, 7 y 8.)

Entre 1957 y 1960, las medidas del viento por el radar han sido proseguidas en las capas que se extienden de los 12 a los 35 kilómetros de altitud. En 1961, estas medidas se han hecho entre los 25 y 40 kilómetros. La capa situada entre 19 y 20 *kilómetros* parece ser una capa de transición importante entre la baja estratosfera y la estratosfera media, que se puede considerar como extendiéndose de 20 a 25 kilómetros. Es en esta capa donde se observa la inversión estacional de la dirección del viento que, generalmente, desde principios de mayo hasta agosto, pasa al sector Este.

Igualmente, es en esta capa donde se observa el mínimo absoluto de la velocidad del viento; excepto en invierno, no se encuentra allí viento superior a 70 km/hora.

En fin, esta capa, en la que los vientos predominantes son del Sureste a Este, en verano, y de Oeste a Noroeste, en invierno, deja aparecer menos del 20 por 100 de vientos meridianos (principalmente del Sur, en verano, del Norte, en invierno). (Ver figs. 9 y 10.)

*Entre 20 y 25 kilómetros de altura*, o sea, en la estratosfera media, las velocidades del viento son máximas en invierno, estación durante la cual la dirección del sector Oeste predomina en el 80 por 100 de los casos. Al contrario, estas velocidades son débiles en verano, estación durante la cual las direcciones del Este y del Sureste predominan, soplando solamente el 5 por 100 de los vientos del sector Oeste. (Ver figuras 11 y 12.)

En la estratosfera superior, o sea, entre 25 y 30 *kilómetros* de altitud, se comprueban velocidades de viento máximas en invierno, en relación con la "corriente en chorro" estratosférica; estas velocidades se hacen débiles en verano, con un mínimo muy marcado en julio.

En cuanto a las direcciones de viento, se hallan sensiblemente como en la estratosfera media, pero el predominio de los vientos zonales del sector Este es aún más marcado en verano, donde aparece el 80 a 90 por 100 de los casos en julio, mientras que el de los vientos



del sector Oeste sobrepasa el 90 por 100 de los casos en invierno. (Ver figuras 13 y 14.)

En fin, la capa situada entre 30 y 35 kilómetros de altitud es menos conocida. El reparto de las velocidades y de las direcciones del viento durante el año, aparece allí sensiblemente igual que en la capa precedente, pero con caracteres aún más marcados, en lo que respecta a las velocidades y una frecuencia mayor de los vientos del sector Oeste. (Ver figs. 15 y 16.)

Todo lo que se ha dicho y mostrado sobre los gráficos, pone en evidencia la relativa complejidad de la estructura de los vientos en la atmósfera en un instante dado. La previsión del estado futuro de esta estructura constituye igualmente un problema delicado. Pero el aprovechamiento óptimo de esta estructura por las aeronaves es evidente: en los límites impuestos por las servidumbres técnicas de la navegación, la elección del nivel de vuelo tendrá consecuencias inmediatas sobre la duración del recorrido y, por tanto, sobre el consumo de carburante.

Así, las corrientes en chorro podrán ser evitadas o, al contrario, utilizadas por el avión, según su punto de destino. Esto se hace corrientemente por los aviones de línea a reacción, cuyo nivel de crucero está generalmente próximo al nivel de la corriente en chorro.

Un problema idéntico se va a presentar dentro de pocos años, cuando los aviones supersónicos sean explotados comercialmente. Como hemos dicho más arriba, su nivel medio de crucero no está aún determinado, no habiendo sido fijadas todavía las características técnicas de estos aparatos ni aún se ha elegido el orden de magnitud de velocidad entre mach 1 y mach 3.

Si se admite a "grosso modo" que el nivel de crucero se establecerá entre 18.000 y 25.000 metros, será preciso tener en cuenta, para establecer los planes de vuelo, la importante capa de transición, situada hacia los 19.000-20.000 metros, que ha sido descrita anteriormente. Entre los 20.000 y los 25.000 metros, será menester igualmente tener en cuenta la corriente en chorro estratosférica que, aunque situada en la estratosfera superior, deja ya sentir su influencia en esta capa.

En fin, los constructores de aviones deberían por sí mismos tener en cuenta las condiciones meteorológicas que reinan en los diversos niveles de vuelo de los futuros aviones supersónicos y, especialmente, en la capa de transición situada hacia los 19.000-20.000 metros que será, probablemente, la más rentable desde el punto de vista de la economía de los vuelos.

Después de haber examinado la estructura de los vientos a todos los niveles utilizados hasta ahora, o a emplear en un futuro próximo por la navegación aérea, vamos a hablar sobre otro medio de investi-



gación de la atmósfera del que los meteorólogos esperan mucho: la observación por medio de los satélites meteorológicos.

Es la serie de satélites artificiales americanos "Tiros" la que anuncia las nuevas posibilidades en el terreno de las investigaciones aplicadas. "Tiros" es, en efecto, el primer satélite concebido para una explotación sistemática para beneficio de diversos usuarios, que son, en primer lugar, los servicios meteorológicos, pero también los organismos de investigaciones o laboratorios interesados en el conocimiento del estado global de la atmósfera en un momento dado.

"Tiros I", el primero de la familia, fué lanzado desde Cabo Kennedy, el 1 de abril de 1960; llevaba dos cámaras de televisión de pequeño y gran angular, cuyas imágenes eran retransmitidas a Ft. Monmouth, en New Jersey. Se revelaron como de excelente calidad y constituyeron la primera comprobación experimental en gran escala de la morfología de las perturbaciones meteorológicas. La vida activa de "Tiros I" debía durar dos meses y medio, período en el cual fueron registrados 23.000 clichés.

Para los satélites siguientes, "Tiros II" y "Tiros III", lanzados, respectivamente, el 23 de noviembre de 1960 y el 12 de julio de 1961, el aparato científico comprendía, además de los dispositivos de la televisión, instrumentos de radiometría de baja y media resolución, que han permitido suministrar resultados excepcionalmente interesantes, de los que hablaremos más adelante.

Por último, "Tiros IV", lanzado el 8 de enero de 1962, llevaba una instalación idéntica a la de los dos precedentes; gira actualmente todavía alrededor de nuestro globo y continúa transmitiendo informes que son rápidamente explotados.

Veamos cómo se presenta este satélite "Tiros". En todo lo que sigue voy a referirme a "Tiros III", prototipo poco más o menos definitivo de la serie que, después de "Tiros IV", debe comprender otros tres satélites cuyo lanzamiento está previsto en 1962-63. (Ver fig. 17.)

Sobre la superficie exterior del satélite, una cubierta regular de 9.200 células solares aseguran una potencia instantánea del orden de algunas decenas de vatios, suficientes para el funcionamiento de la máquina, principalmente de sus cámaras de televisión.

En el interior del satélite se encuentra un conjunto completo de aparatos que comprende, además de las dos cámaras y los dos radiómetros ya citados, un detector de horizonte infrarrojo y los dispositivos asociados, registro sobre cinta magnética, medios electrónicos de amplificación y de transmisión, alimentación de los sistemas electromecánicos.

La cámara gran angular de "Tiros" le permite operar, sea en directo, sea sobre registro magnético, con retransmisión diferida. Su eje

óptico es paralelo al eje del satélite. A 800 kilómetros de altitud puede fotografiar totalmente un cuadro de unos 1.200 kilómetros de lado, con un poder resolutivo de 3 kilómetros. La exploración de la imagen se hace sobre 500 líneas, a la cadencia de una imagen cada dos segundos. Es notable la extrema ligereza de esta cámara, cuyo peso total apenas pasa de 2 kilogramos. La porción de tierra explorada es de 7.000 kilómetros de largo y la anchura cubierta alcanza unos cincuenta grados de latitud.

En cuanto a los dos radiómetros montados a bordo de "Tiros", son de diferentes tipos:

- El primero, llamado radiómetro de baja resolución, permite separar de una parte la radiación térmica tierra-atmósfera y, de otra parte, la fracción de la radiación solar difundida por la tierra y la atmósfera. La superficie explorada por el aparato está incluida en el campo de la cámara.
- El segundo, llamado radiómetro de media resolución, restringe la medida a ciertos tipos de longitudes de onda y para superficies de suelo más reducidas (de 60 kilómetros de ancho aproximadamente). Las radiaciones incidentes son observadas en cinco amplias bandas.
- La banda de absorción del vapor de agua.
- La "ventana de transparencia" de la atmósfera.
- El albedo.
- La emisión térmica de la tierra y de la atmósfera.
- Una banda de control de las pruebas de la cámara.

Este segundo radiómetro está montado a 45° de inclinación del eje de rotación del satélite, lo que asegura un barrido a rotación continua durante el desplazamiento de aquél.

Vamos a decir ahora algunas palabras sobre la órbita del "Tiros".

Esta órbita es casi circular: siendo la altitud media del satélite de 800 kilómetros, dura cada revolución alrededor de cien minutos.

Desgraciadamente, a causa de la inclinación del plano de la órbita sobre el Ecuador, las regiones de latitud superior a unos 55°, es decir, las regiones polares, están excluidas del campo de explotación del "Tiros".

Además, el satélite, girando sobre sí mismo a una velocidad de cerca de 100 vueltas/minuto, su cámara no ve la tierra más que sobre 1/3 de la órbita. En realidad, el eje del "Tiros" no es absolutamente estable en el espacio, lo que necesita un reglaje continuo de la altitud verdadera del satélite, para permitir la programación de las tomas de vista.

Es evidente, asimismo, que aquéllas se encuentran limitadas al

hemisferio iluminado por el sol. Como la posición de este último respecto al plano de la órbita no es fija, la cámara puede solamente fotografiar una banda de latitudes que, durante ciertos períodos, se desplaza alternativamente del hemisferio Norte al hemisferio Sur y viceversa. En la práctica, esto se traduce en la imposibilidad de obtener fotografías sobre uno u otro hemisferio durante un período cuya duración puede alcanzar varias semanas.

Por último, aparte de estas limitaciones de origen astronómico, otras limitaciones, ligadas a la tecnología propiamente dicha del satélite, vienen a reducir aún más el campo de investigación.

Todo esto demuestra que no es posible, para un satélite meteorológico, efectuar una observación constante y extensa de nuestro planeta. En total, de las 14 órbitas diarias realizadas por "Tiros", solamente de 7 a 8 dan sin restricción informaciones fotográficas y radiométricas; además, ciertas regiones, como el Oriente Medio y el Sureste del Pacífico, se encuentran seriamente desfavorecidas. Los datos dados por "Tiros" son actualmente recibidos en dos puntos de los Estados Unidos, uno situado sobre la Costa del Este, en Wallops Island (Virginia) y, el otro, sobre la Costa Oeste, en Point Mugu (California), pero como se deduce de lo anteriormente citado, estos datos no son directamente utilizables. El primer problema que se presenta es el de la reconstitución geográfica de las fotografías. No es posible, dentro del marco de esta conferencia, desarrollar los métodos utilizados por el detector de horizonte y por la fotogrametría. Digamos solamente que la primera necesidad que se impone es la marcación minuciosa de la posición del satélite, marcación realizada gracias a una red de estaciones llamada red Minitrack.

Se admite actualmente que la precisión media en el cálculo de la posición del eje del satélite es de tres grados, lo que asegura una precisión de 35 a 40 kilómetros en visión vertical, pero se hace rápidamente insuficiente a partir de cierta oblicuidad.

Una vez las imágenes restituídas sobre mapas geográficos, las masas nubosas son interpretadas y transcritas bajo la forma de esquemas llamados Nephanalyses. Este trabajo de interpretación y de transcripción, efectuado por los equipos de meteorólogos, requiere unas tres horas después de la escucha del satélite.

Los Nephanalyses así puestos a punto, son primero difundidos por facsímil en el interior del Servicio Meteorológico Americano, y luego distribuidos a los otros servicios por medio de la red mundial de Telecomunicaciones Meteorológicas.

En esta fase, la Organización Meteorológica Mundial interviene eficazmente en la promulgación de los códigos de las reglas de transmisiones.

Indiquemos rápidamente el proceso utilizado para que todos los Servicios Meteorológicos del mundo que lo deseen puedan participar en la explotación de los "Tiros". Señalemos, ante todo, que los mensajes Tiros Alert, cifrados en forma simbólica, son difundidos por el Servicio Americano desde el lanzamiento del satélite y durante la duración de su vuelo. Indican las zonas que serán sobrevoladas por el satélite a horas determinadas, de manera que los países atravesados puedan en el mismo momento hacer observaciones meteorológicas especiales que vendrán a completar las observaciones del "Tiros". La difusión se efectúa sobre la red meteorológica de intercambios del hemisferio Norte; es retransmitida desde Honolulu, Miami y Offenbach, sobre los circuitos de estación a estación o por radioteletipo.

Por lo demás, los Nephanalyses establecidos por el Servicio Americano son difundidos por medio de mensajes cifrados bajo la forma simbólica NEPAN. Esta forma permite transmitir los datos sobre la cantidad, el tipo y la descripción de los sistemas nubosos por encima de una región. Las vías utilizadas para la difusión de los NEPAN son las mismas que para los TIROS ALERT.

Desde el 15 de abril, y a título de ensayo hasta final de junio, los nefanálisis son difundidos por facsímil para determinar si este sistema de ensayo deberá ser proseguido y mejorado en cuanto a frecuencias utilizadas actualmente. (Ver fig. 18.)

Finalmente vemos que, tanto para los datos obtenidos por satélites meteorológicos como para las otras observaciones, se ha establecido muy rápidamente una cooperación internacional eficaz, bajo la égida de la Organización Meteorológica Mundial.

No puede suceder lo mismo para los datos radiométricos que, en razón de su enorme volumen y de la complejidad de las correcciones a efectuar, son analizados en diferido por el centro de cálculo americano de Greenbelt (Maryland), que utiliza potentes calculadoras electrónicas, pero que ha empezado, sólo al final de 1961, a editar datos utilizables.

Como hemos visto, no es suficiente obtener fotografías por satélites. Es menester también interpretarlas y es esa una tarea delicada, a veces insegura y, en gran parte, subjetiva.

Sin embargo, la manipulación de decenas de millares de clichés, sistemáticamente confrontados con las observaciones meteorológicas clásicas, permite a los técnicos entrenados, comparables en cierta medida a los radiólogos, interpretar las imágenes con una aproximación suficiente, permitiendo determinar el género y el nivel de las nubes.

Para gran satisfacción de los meteorólogos, los primeros clichés de "Tiros" han aportado una confirmación experimental directa de los esquemas de los sistemas nubosos de la escuela francesa, definidos

desde 1923 y de los modelos teóricos de perturbaciones de la llamada teoría noruega. (Ver fig. 19.)

Los frentes cálidos, caracterizados por importantes formaciones de nubes estratiformes, son fácilmente identificables sobre las imágenes donde aparecen bajo un aspecto denso y amorfo. Los frentes fríos, que constan de una acumulación de nubes de desarrollo vertical, se identifican igualmente sobre las fotografías, en las que las nubes tienen un aspecto brillante, compacto y de contornos muy definidos.

Los dos clichés que van a proyectarse, ilustran bien la identificación por la imagen del esquema clásico de una perturbación. (Ver figuras 20 y 21.)

Mostremos en seguida un cliché en el que aparecen netamente importantes formaciones tormentosas, comprendiendo cúmulonimbos muy desarrollados. (Ver fig. 22.)

En otros casos, las nubes aparecen mejor organizadas. (Ver figuras 23, 24, 25, 26 y 27.)

Por otra parte, se conocen los estragos producidos por los ciclones que han atacado, durante el curso de los últimos años, territorios como Madagascar y la Reunión, los parajes del Mar del Caribe y las Costas de la Luisiana y de la Florida.

Importantes redes meteorológicas han sido puestas en marcha para detectarlos. Pero estas redes no son siempre suficientemente densas, y los ciclones, por razón de sus pequeñas dimensiones, pasan a menudo por lo menos al comienzo de su formación, entre sus mallas. El empleo simultáneo de aviones de reconocimiento y de radares panorámicos no permite tampoco resolver el problema completamente. Es aquí donde el satélite meteorológico aporta un medio de investigación tan eficaz como revolucionario: con uno o dos clichés solamente, el torbellino ciclónico y su centro pueden situarse con precisión. (Ver figuras 28 y 29.)

Como hemos visto, el ciclón, en las primeras fases de su desarrollo, es compacto, aproximadamente circular y las bandas espirales del torbellino comienzan apenas a formarse sobre la periferia.

Seguidamente, las bandas espirales se destacan más netamente, desarrollándose entre ellas alternativas de cielo despejado. En el centro del ciclón se forma lo que se llama "ojo", zona circular prácticamente sin nubes. (Ver fig. 30.)

Llegado a esta fase, el ciclón se desplaza sobre grandes distancias, siguiendo leyes aún en parte misteriosas; es por eso por lo que los nefanálisis de los satélites son todavía más valiosos. (Ver fig. 31.)

Vamos en seguida a proyectar un nefanálisis hemisférico, sobre el cual figuran 5 ciclones localizados por "Tiros". Gracias a esta locali-

zación, los ciclones han podido ser seguidos eficazmente con los medios clásicos, es decir, con los aviones y radares. (Ver fig. 32.)

Este ejemplo de localización de ciclones por "Tiros" es particularmente espectacular. Verdaderamente este ejemplo hay que unirlo a otros muchos, y podemos decir que desde ahora es posible evaluar el importe, por valor de varios cientos de millones de dólares, de la riqueza ahorrada gracias a la acción del satélite, sin hablar, por supuesto, de las numerosas vidas humanas.

Tales cifras merecen ser citadas, porque, aparte del interés teórico de la experiencia, justifica ampliamente la importancia de los presupuestos consagrados a los satélites.

Digamos, para terminar, algunas palabras de los resultados suministrados por los radiómetros, de los que hemos hablado bastante, y particularmente por el radiómetro de resolución media.

Hasta el momento, la mayor parte de los estudios se han dirigido, sobre todo, hacia el dominio de 8 a 12  $\mu$ , generalmente calificado de "ventana de transparencia" atmosférica. Se trata, en efecto, de una zona de transparencia máxima, cuyo coeficiente es próximo a la unidad.

La emisión en esta banda puede expresarse por una "temperatura equivalente del cuerpo negro", haciendo referencia a la emisión teórica del cuerpo negro, según la ley de Planck.

La temperatura equivalente es, en este caso, un dato susceptible de una interesante interpretación. En efecto, en ausencia de nubes, el radiómetro recoge la emisión térmica directa de la superficie terrestre y la temperatura equivalente es, pues, aproximadamente la del suelo.

Si, por el contrario, existen nubes de espesor suficiente, el flujo radiativo recibido tiene por origen la parte superior de estas nubes radiando casi como un cuerpo negro.

Se obtiene, en estas condiciones, una temperatura equivalente que es, aproximadamente, la de la cima de las nubes, de donde puede uno deducir con una precisión suficiente *la altitud de la cima de las nubes*.

Es este un primer resultado, cuyo interés, tanto para la Meteorología como para la Aeronáutica, no escapará a nadie.

Por otra parte, si nos imaginamos sobre un mapa geográfico el conjunto de los datos radiométricos de la banda 8-12  $\mu$ , comprobaremos que los puntos de baja temperatura se reparten geográficamente, siguiendo los "thalwegs" que coinciden con las zonas de acumulación de nubes, o sea, con los *frentes*.

Este nuevo resultado representa una notable confirmación experimental del trazado de mapas frontológicos.

Pero podemos ir más lejos todavía y sustituir la noción de frente por la más general de límite de masas de aire. Se llega así a identi-

ficar las discontinuidades térmicas del mapa radiométrico en los límites de las *masas de aire* que evolucionan en la troposfera. (Ver fig. 33.)

Tenemos de este modo un resultado de gran interés, ya que permite en alguna forma la visualización de las masas de aire.

En fin, en lo que precede, no he mostrado más que los aspectos más directamente utilizables de los resultados radiométricos suministrados por "Tiros". Es por esto por lo que tengo que recordar lo que señalé anteriormente, es decir, la importancia de las medidas radiométricas para la investigación del problema de la circulación general.

Tales son, a grandes rasgos, las posibilidades de "Tiros" y los primeros resultados obtenidos.

Durante el curso de mi exposición he indicado algunas imperfecciones del aparato o las dificultades de interpretación de los datos; si hay aún algunos fallos e inexactitudes serán pronto remediados.

A pesar de todo, el balance de explotación de "Tiros" es ampliamente positivo; la existencia de los sistemas nubosos, la estructura de las nubes cumuliformes, se encuentran confirmados por las fotografías, así como la estructura de los ciclones cuya marcación resulta de gran utilidad.

En cuanto a las aplicaciones de las medidas radiométricas, autorizan a los meteorólogos a fundar sobre ellas las mayores esperanzas.

Estructura de los vientos, estructura de las nubes, estructura de las masas de aire... Desde hace algunos años los nuevos instrumentos, tales como el radar y el satélite, nos han permitido en ciertos casos confirmar las teorías ya antiguas, en otros casos revisarlas o precisarlas, pero, de un modo general, aumentar nuestros conocimientos de la atmósfera meteorológica y de su estructura, por lo menos, hasta 35 kilómetros de altitud.

Los nuevos y espectaculares medios de investigación no deben, sin embargo, autorizar una reducción de la densidad de la red de estaciones de observación convencionales, que pueden dar una masa regular y continua de observaciones meteorológicas sobre todo el Globo. Todo nuevo sistema de observación no hace sino completar el sistema ya existente. Aún diremos más: este sistema básico debe continuar mejorándose, especialmente en ciertas regiones donde existen lagunas, cuyas consecuencias son extremadamente molestas, en particular para el estudio de los climas o para la protección de la Aeronáutica.

Es por esto por lo que el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas ha aprobado una Resolución el 1 de agosto de 1961, por la cual los Gobiernos son invitados "a tomar medidas, aislada o colectivamente, con miras a crear estaciones meteorológicas de observaciones en las regiones en que la red mundial presenta graves lagunas". Con este fin, la ECOSOC aprobó igualmente "los esfuerzos desplega-



dos por la O. M. M. para elaborar un plan de red mundial de estaciones meteorológicas y para ayudar a los Gobiernos a poner en ejecución ese plan".

Simultáneamente, los nuevos medios deben ser fomentados y explotados. Abundando en esto las Naciones Unidas, han tomado una sensata decisión, el 20 de diciembre de 1961, durante el curso de la XVI Asamblea General, adoptando, por una gran mayoría, una Resolución sobre la cooperación internacional referente a la utilización pacífica del espacio extra-atmosférico.

Entre otras cosas, esta resolución encarga a la Organización Meteorológica Mundial presentar a la ECOSOC un informe sobre las disposiciones administrativas y financieras a tomar para favorecer el desarrollo de las investigaciones en Meteorología derivadas de la utilización de satélites.

Si tales programas pueden ser llevados a buen término bajo la égida de la Organización Meteorológica Mundial y gracias a la más amplia cooperación internacional, se habrá realizado un gran progreso en el desarrollo del conocimiento de los diversos campos de aplicación de la Meteorología en beneficio de todos sus usuarios.

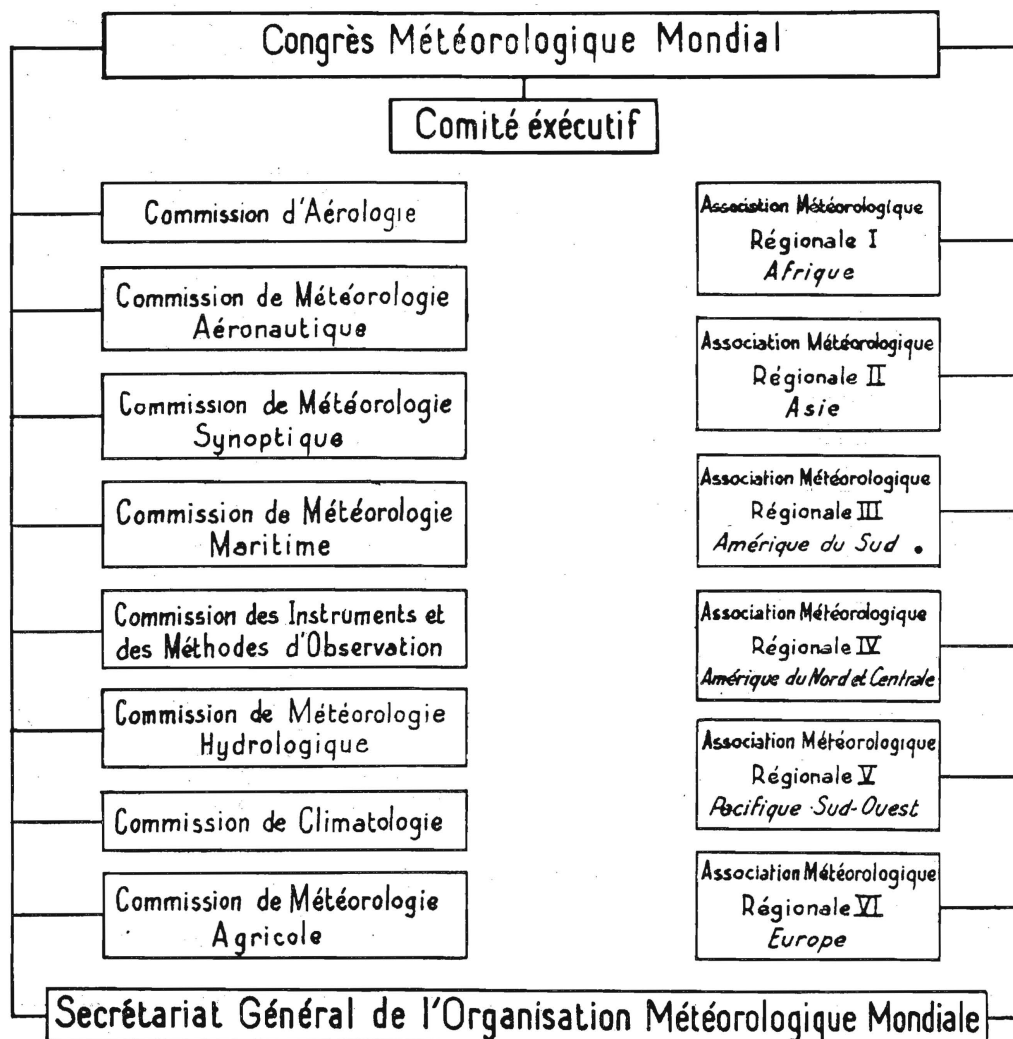


# FIGURAS



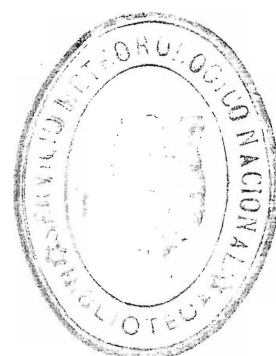
# ORGANISATION MÉTÉOROLOGIQUE MONDIALE

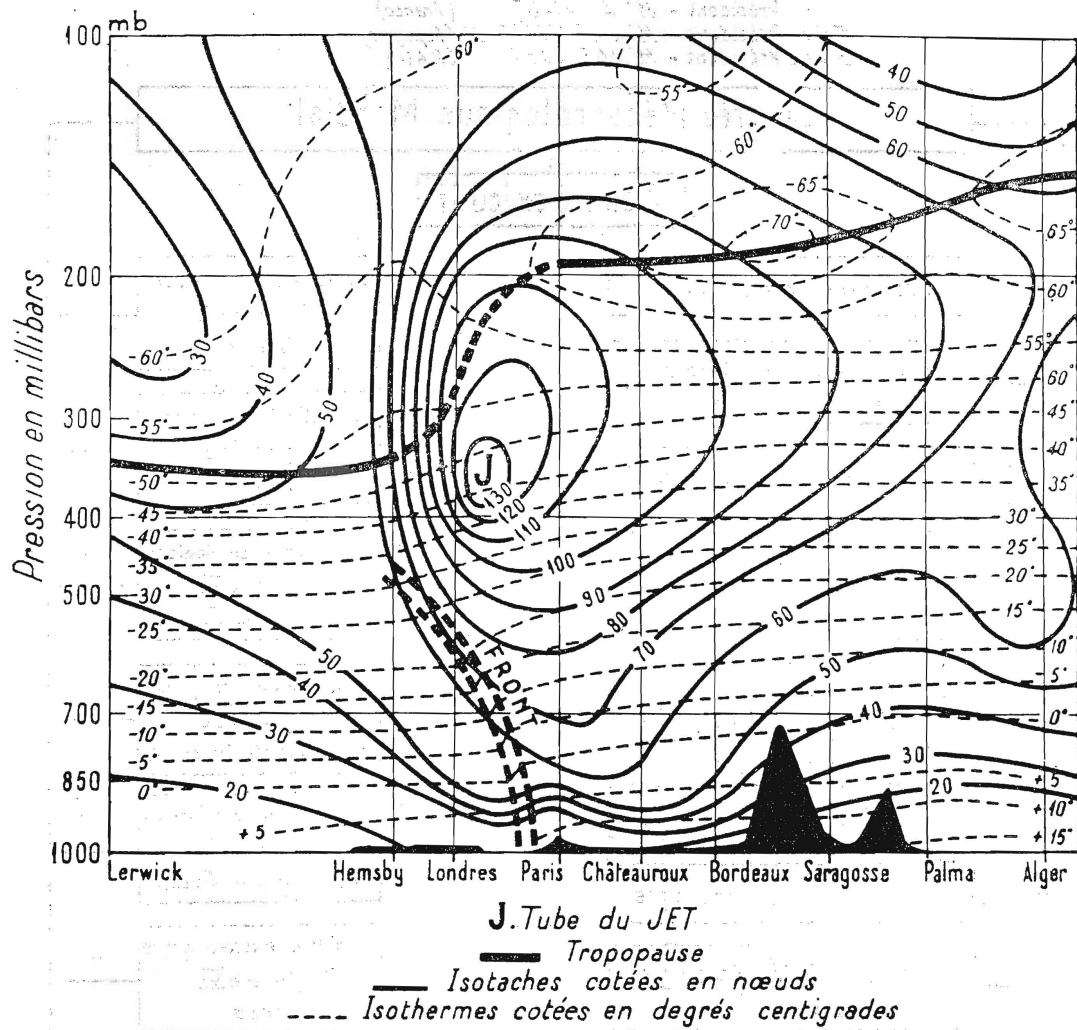
Président - M<sup>r</sup> A. VIAUT (France)  
 1<sup>er</sup> Vice Président - M<sup>r</sup> L. DE AZCARRAGA (Espagne)  
 2<sup>e</sup> Vice Président - M<sup>r</sup> M.F. TAHA (RAU)



Période 1959 - 1963

Fig. 1





Coupe verticale d'un Jet-stream le 12 Janvier 1962 à 12.00 T.U.

Fig. 2.





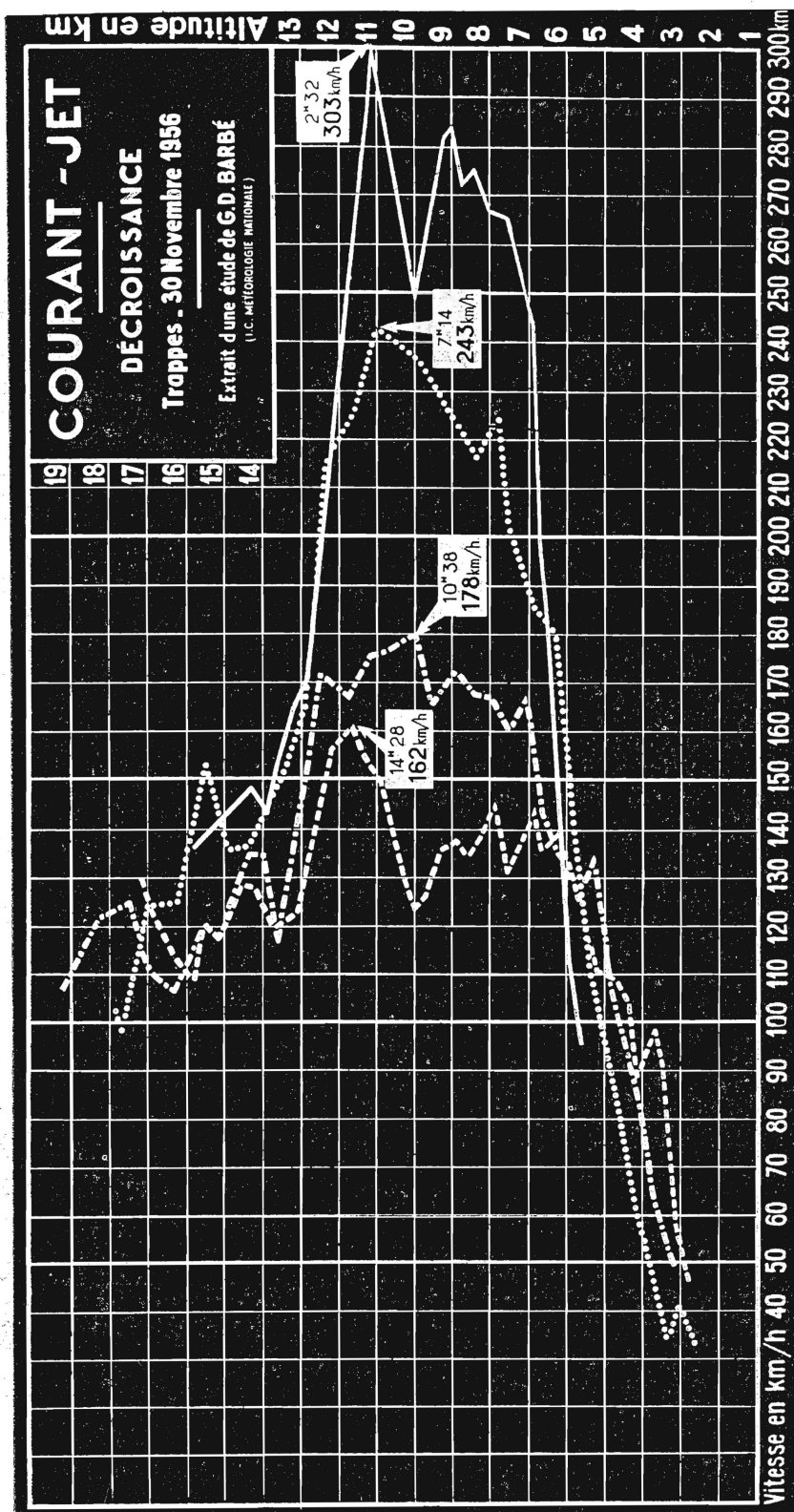


Fig. 5.











# DIRECTIONS — COUCHE 19,0 à 20,0 km.

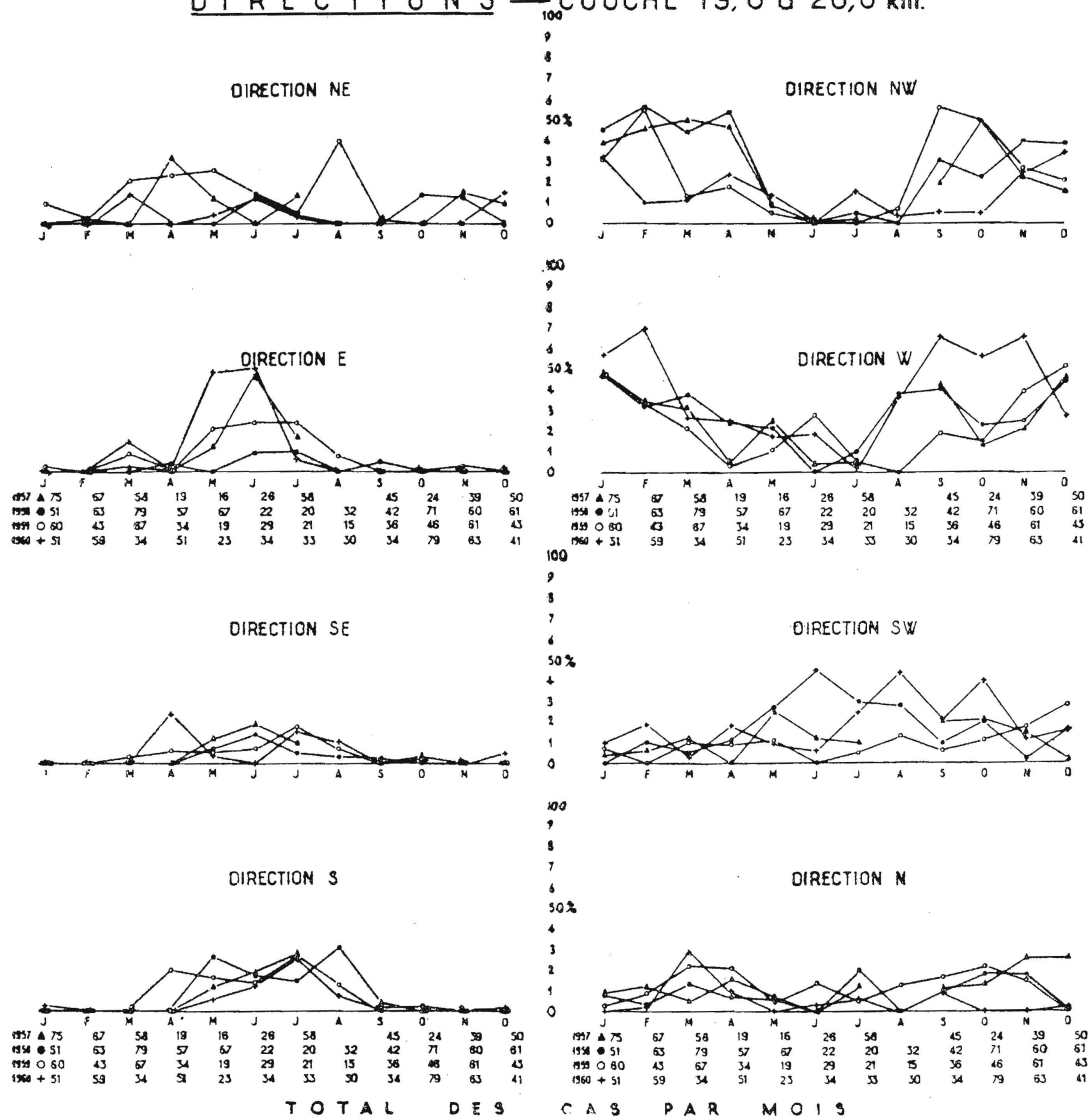


Fig. 9.

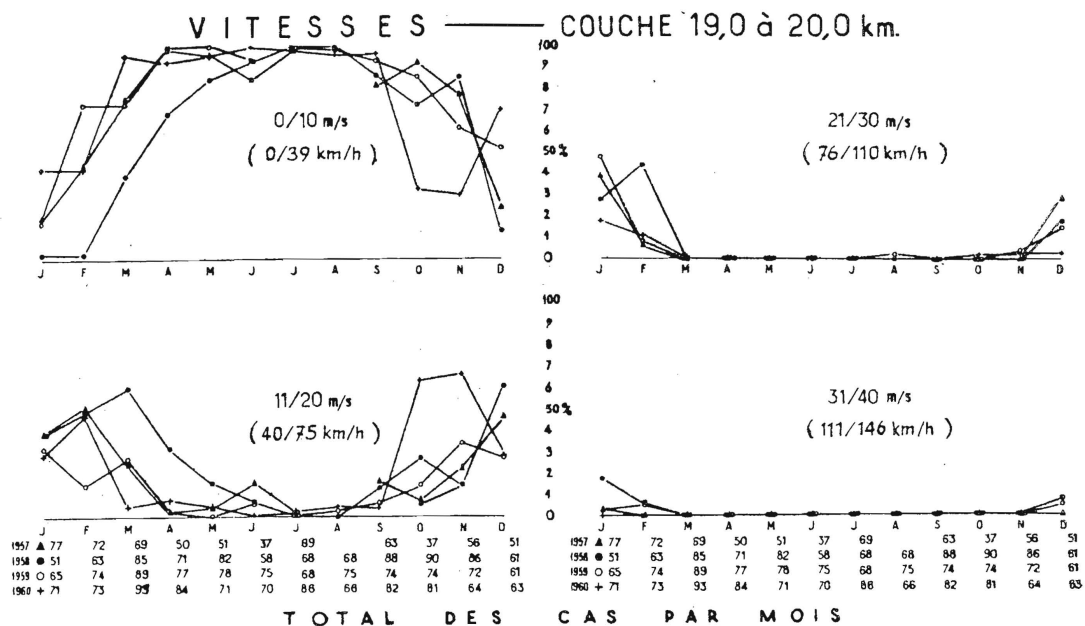


Fig. 10.

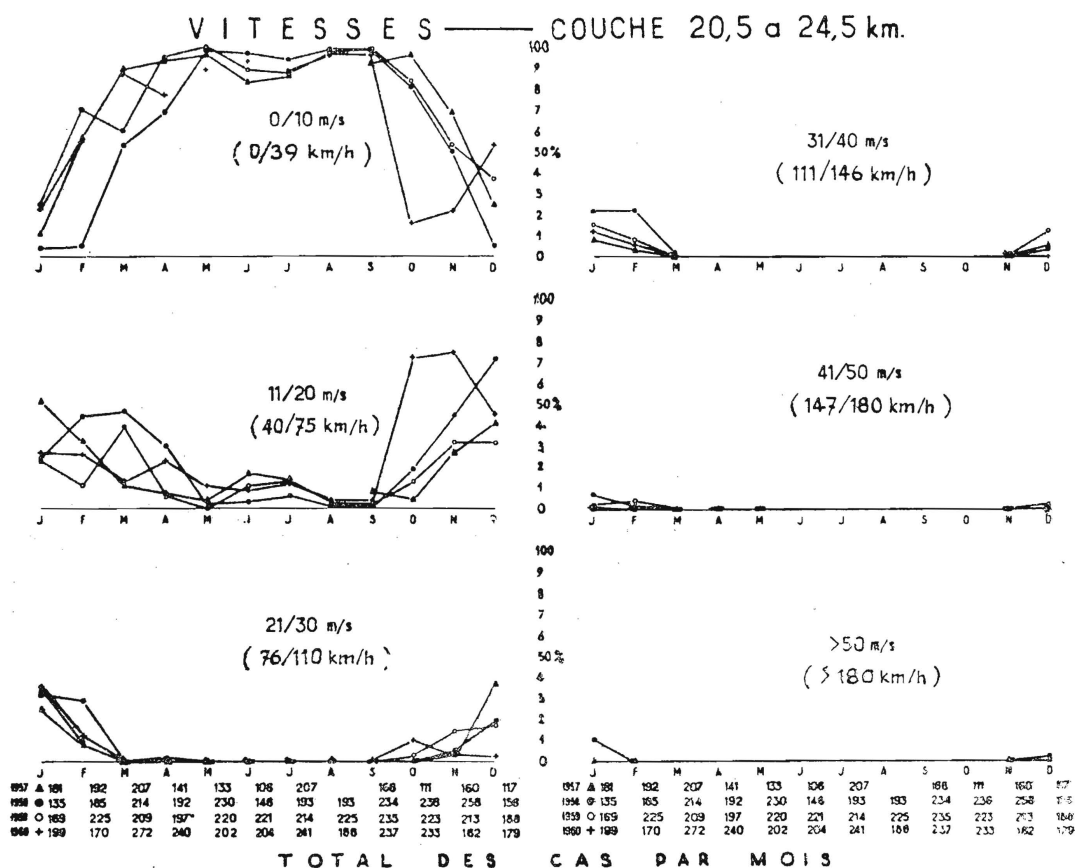


Fig. 11.

# DIRECTIONS — COUCHE 20,5 à 24,5 km.

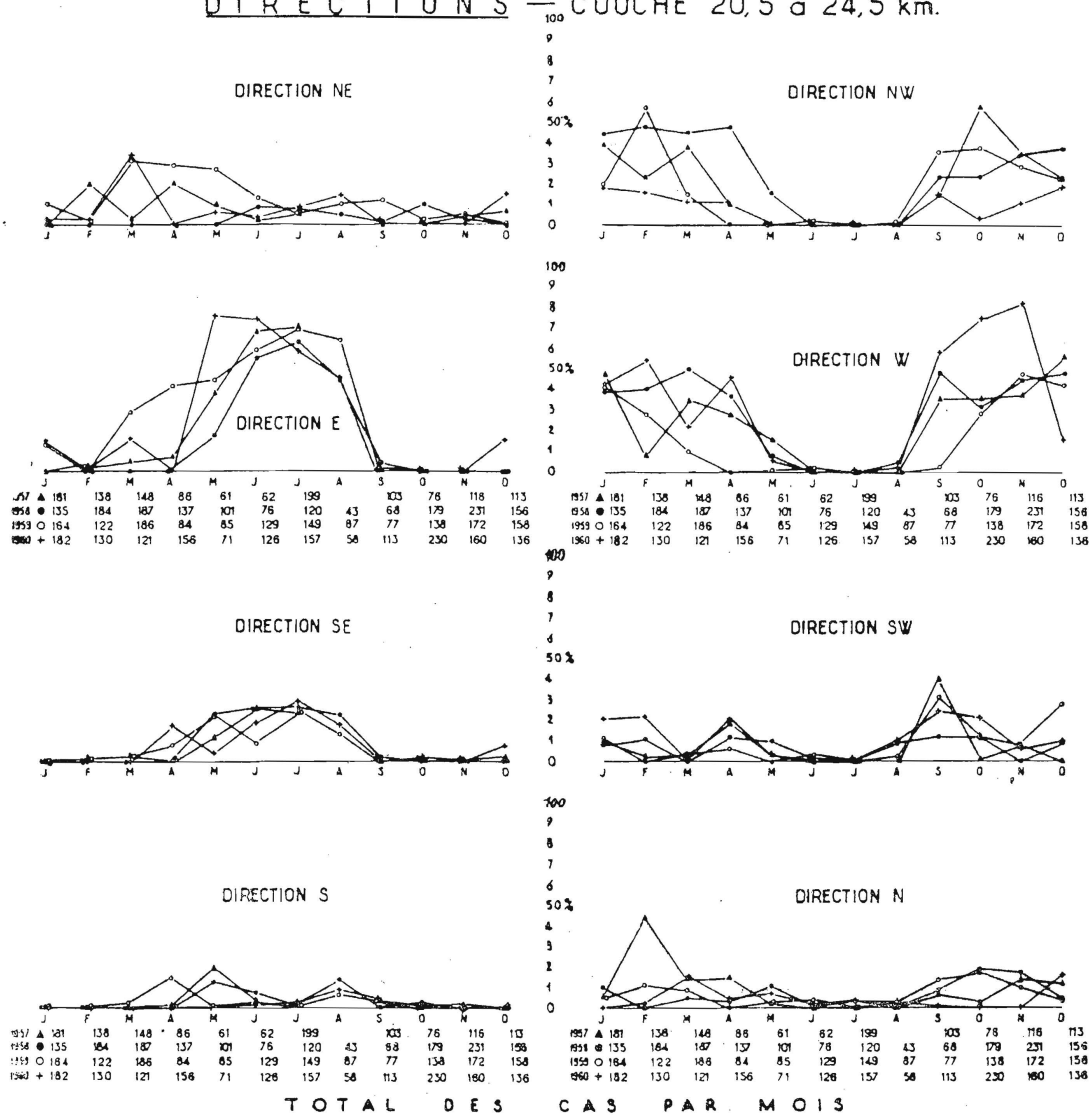


Fig. 12.

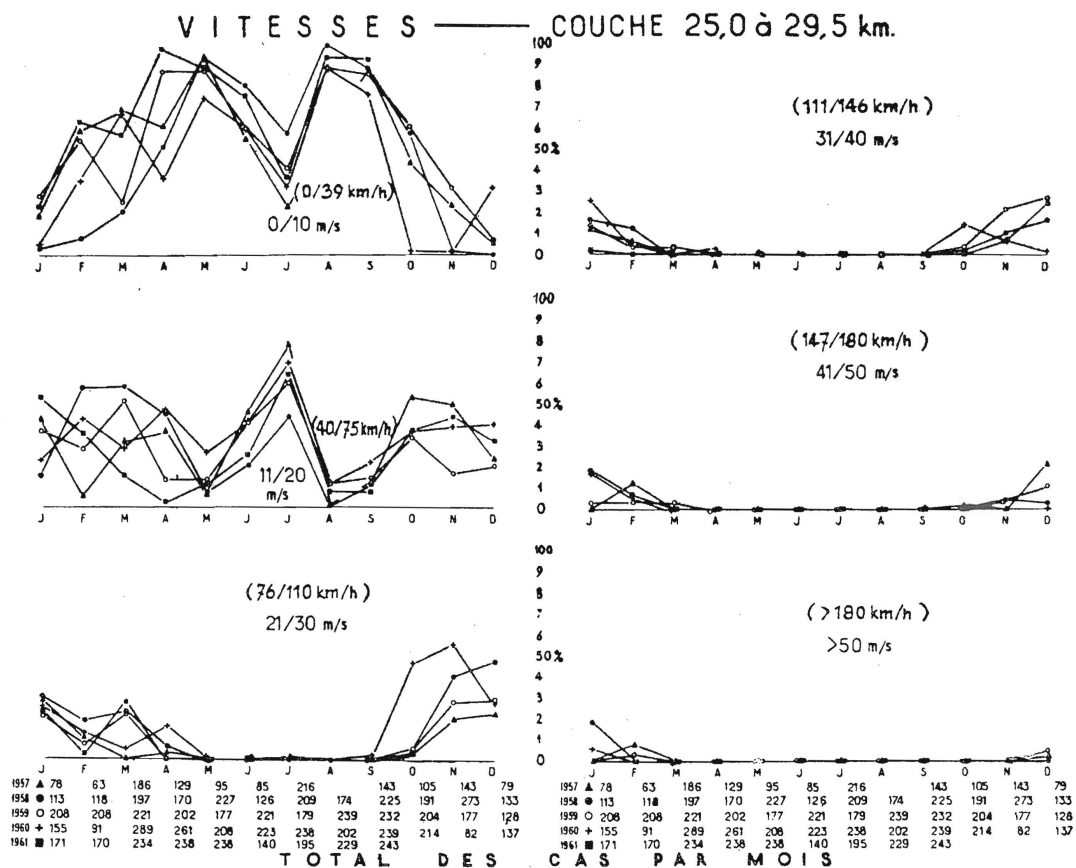


Fig. 13.

# DIRECTIONS — COUCHE 25,0 à 29,5 km.

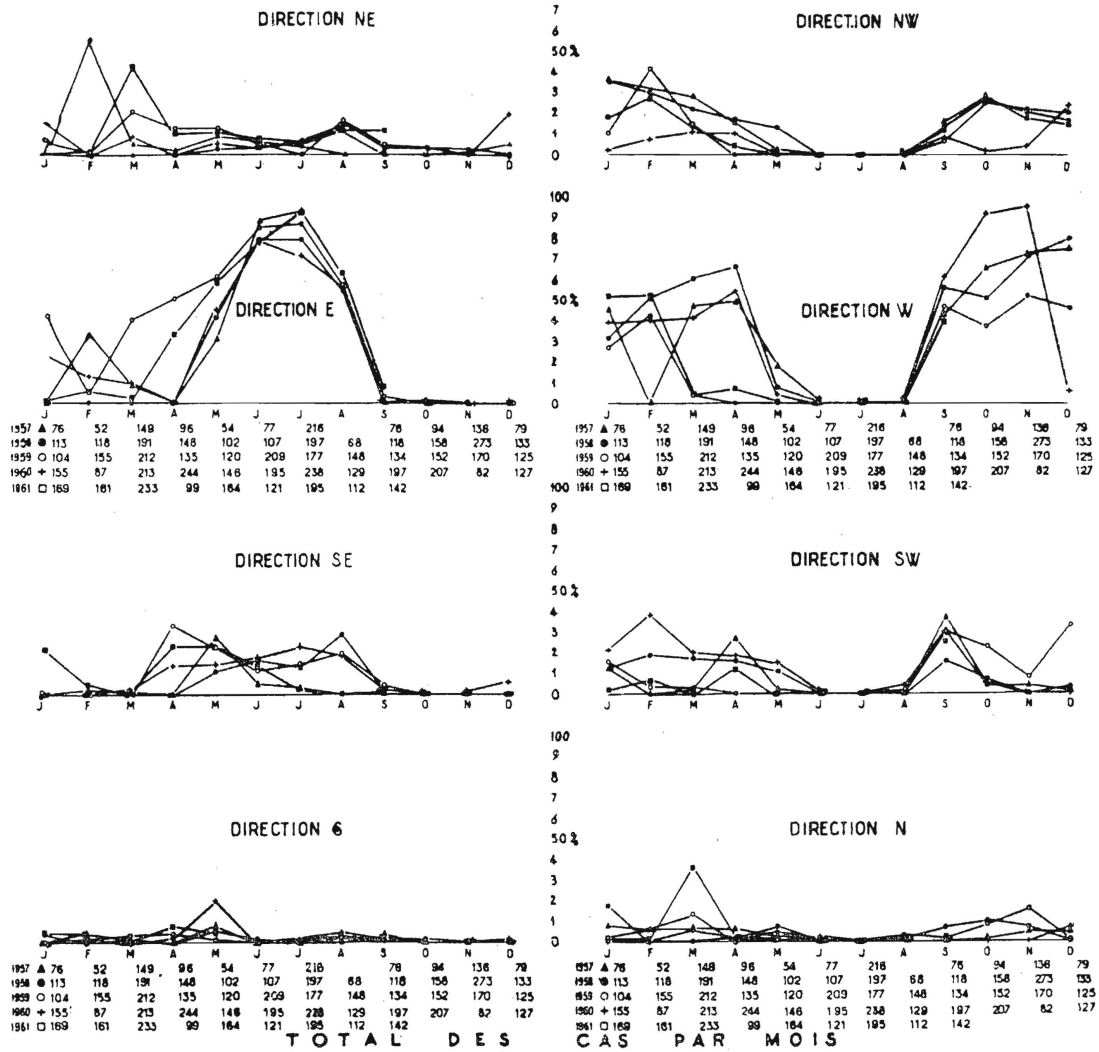


Fig. 14.

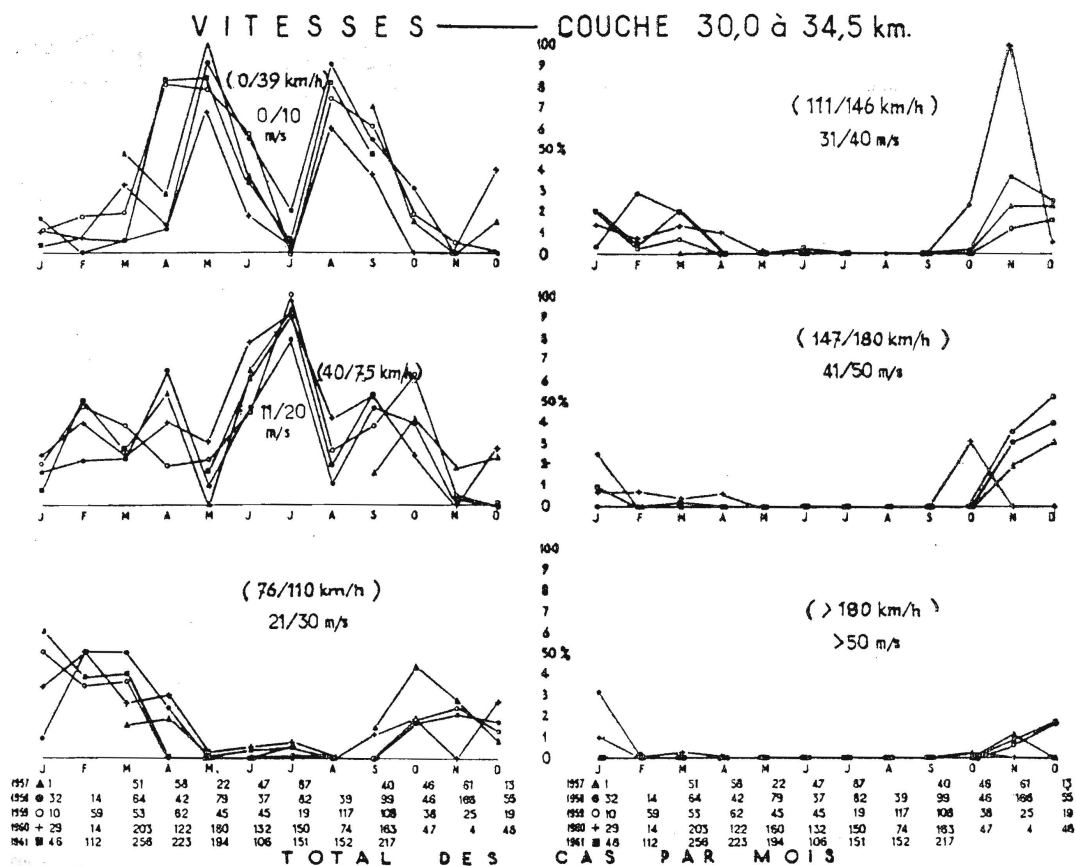


Fig. 15.



# DIRECTIONS -- COUCHE 30,0 à 34,5 km.

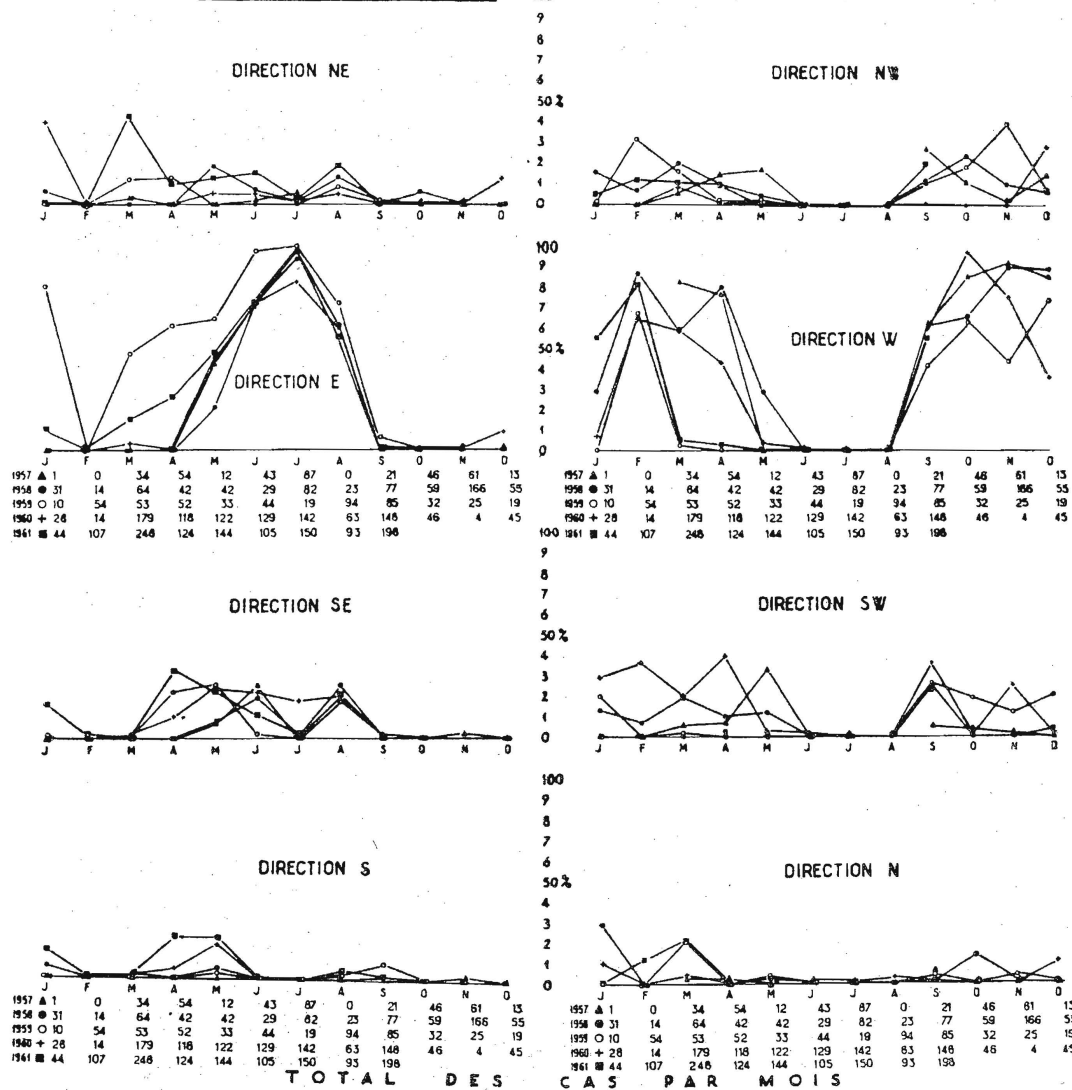


Fig. 16.

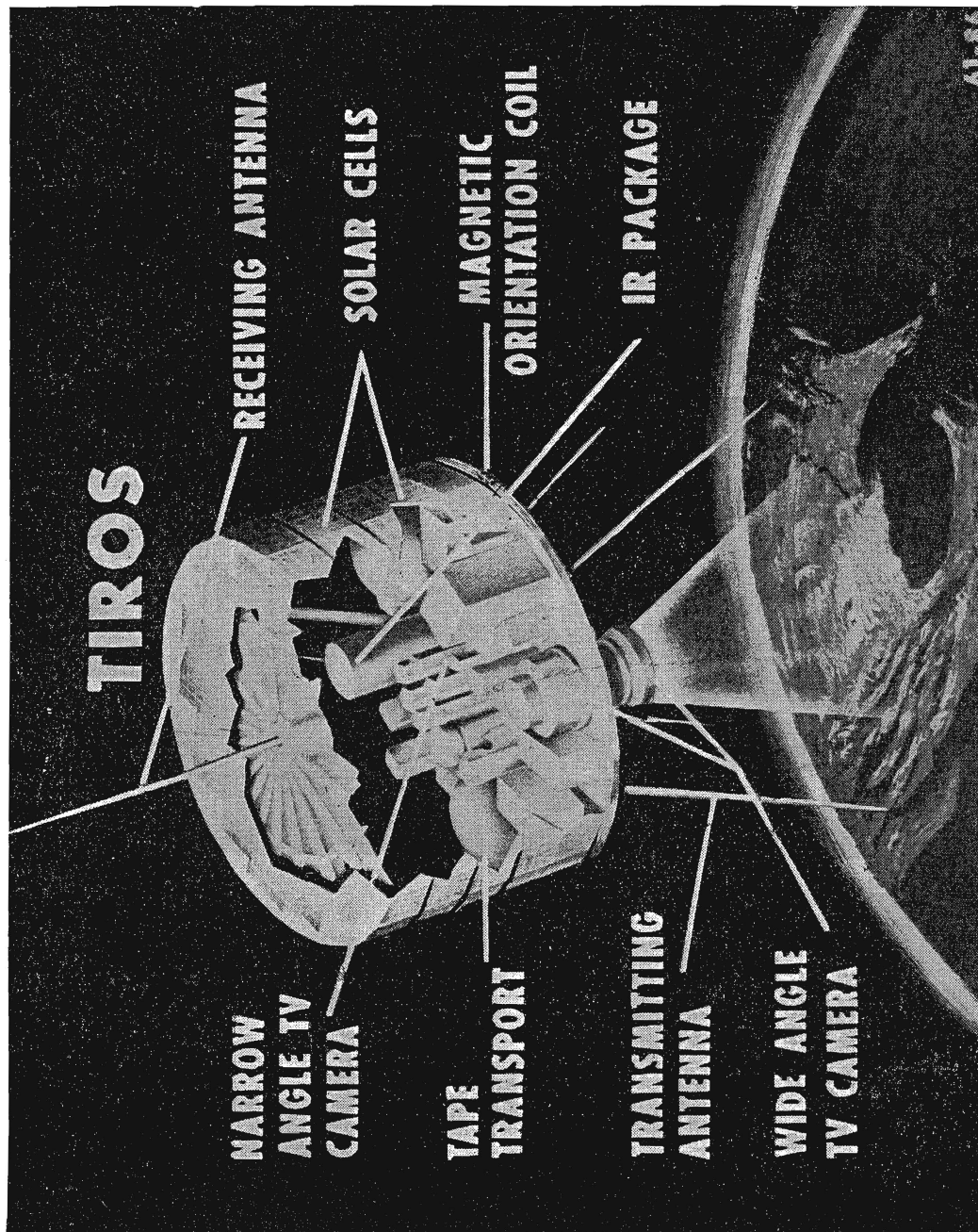
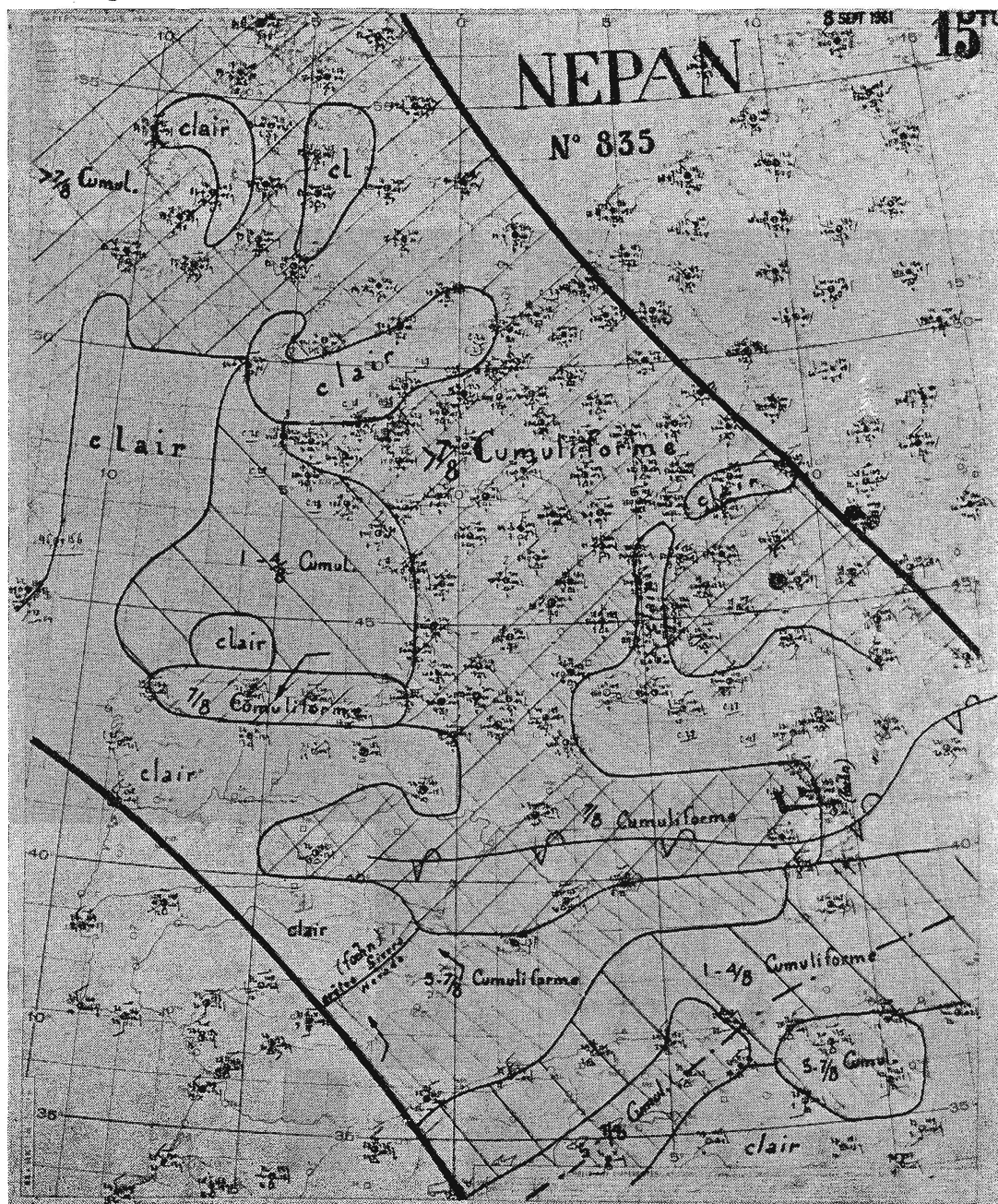


Fig. 17.



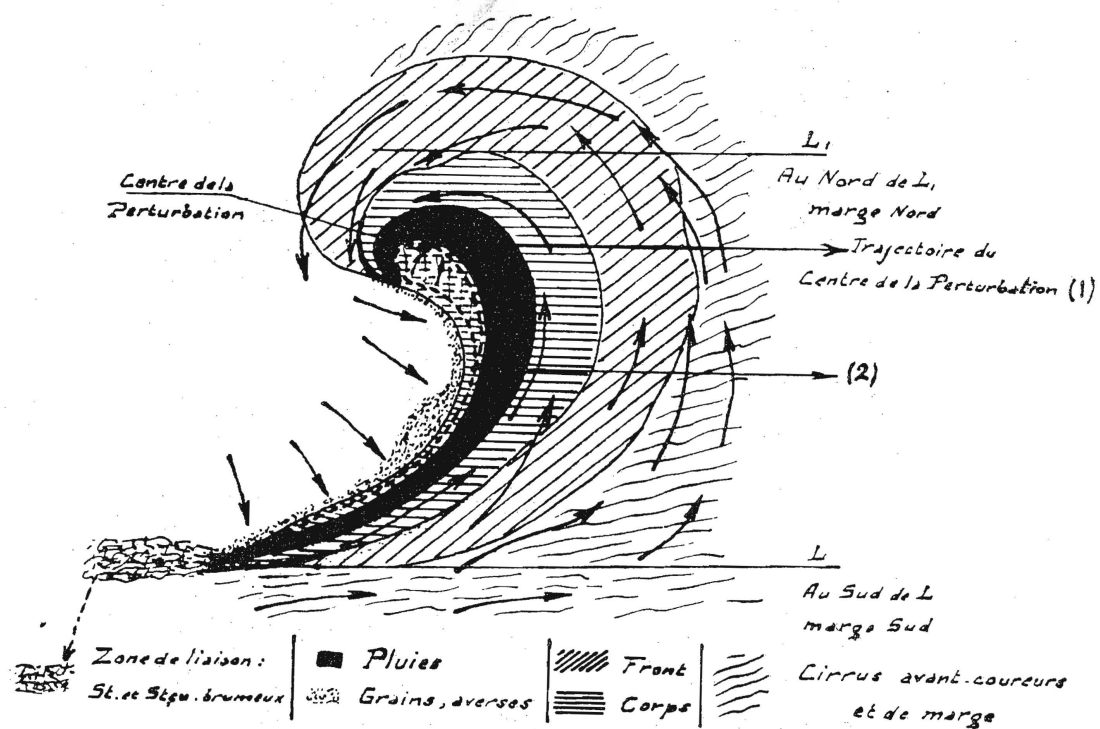


Fig. 19.

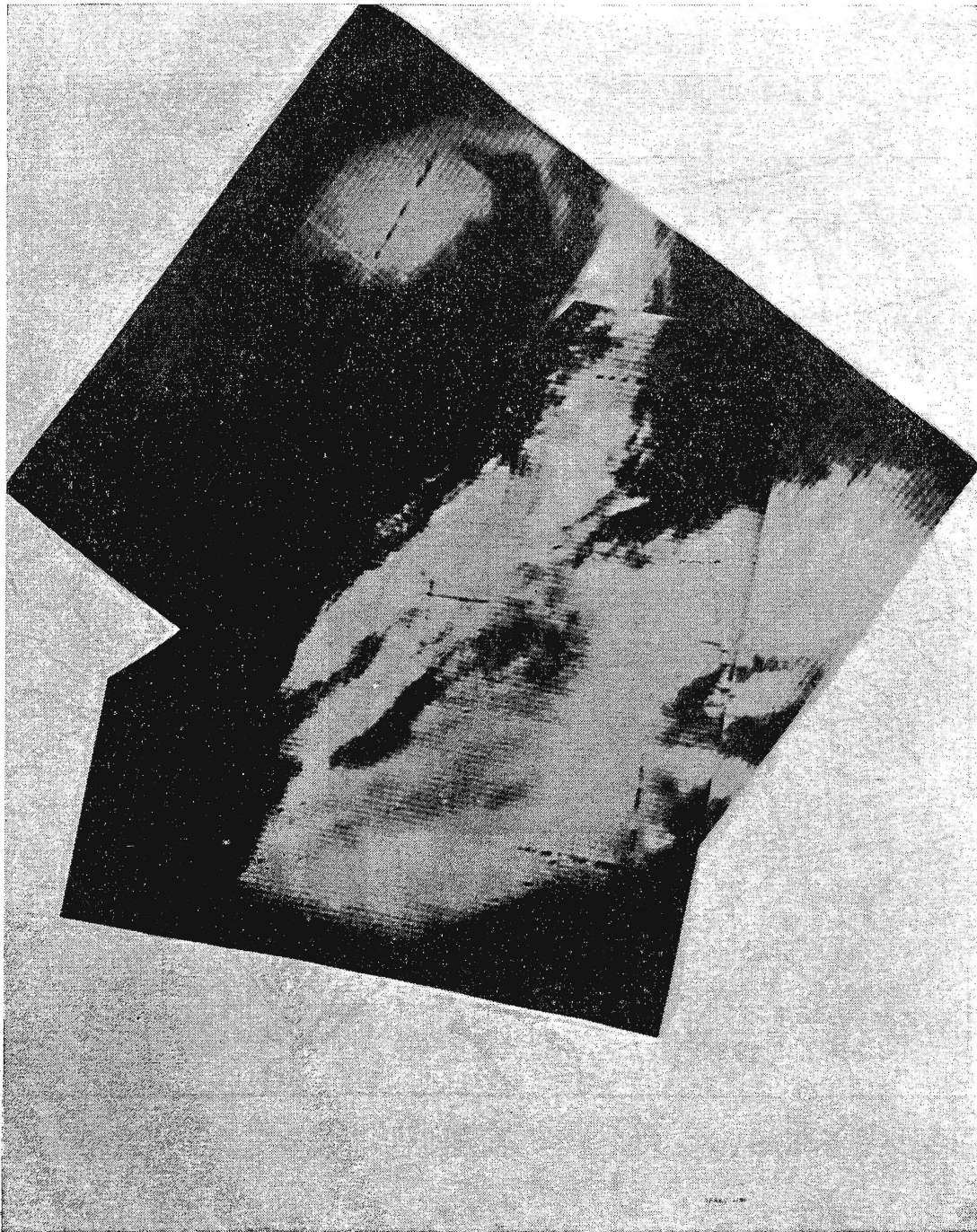


Fig. 20.



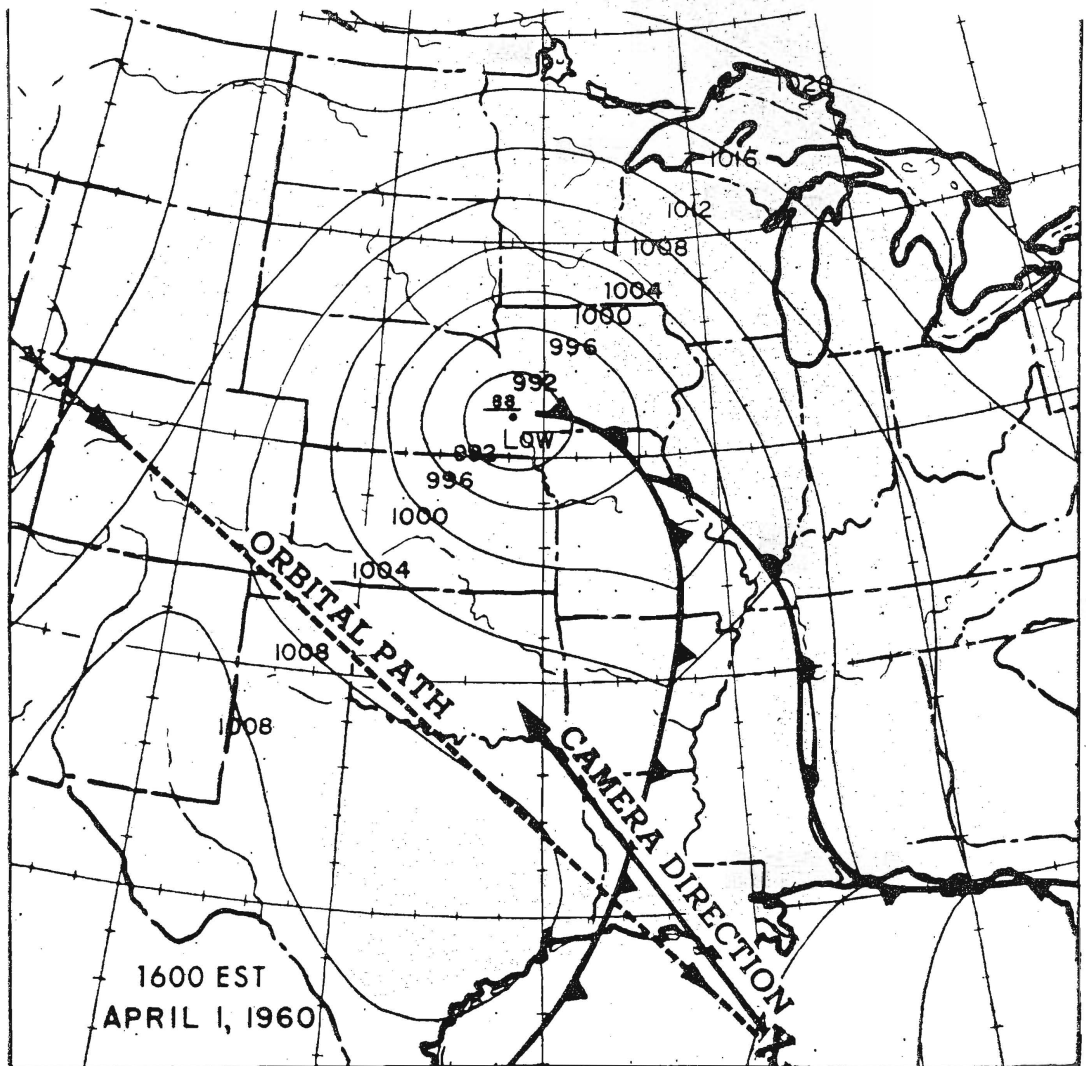


Fig. 21.

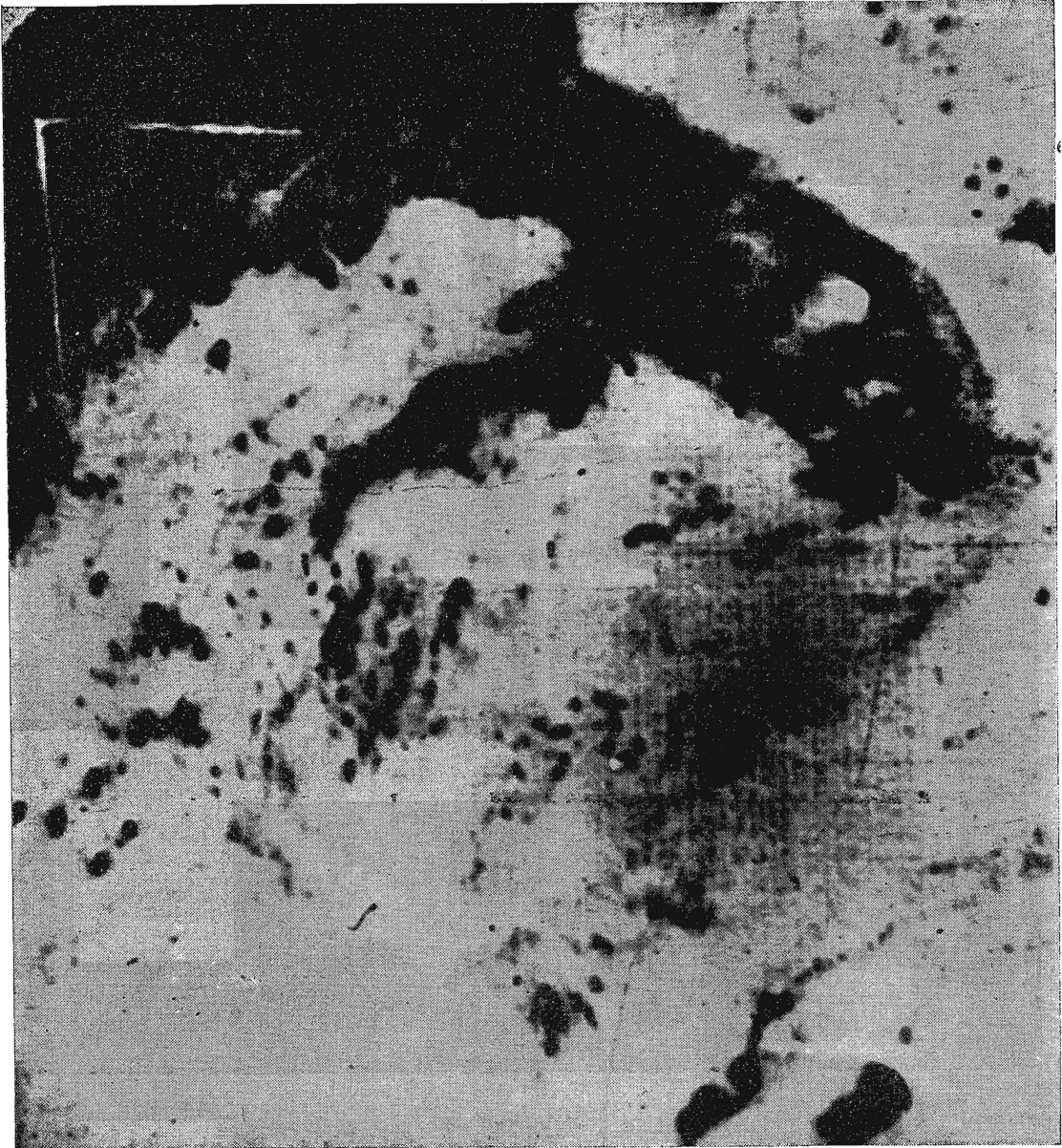


Fig. 22.



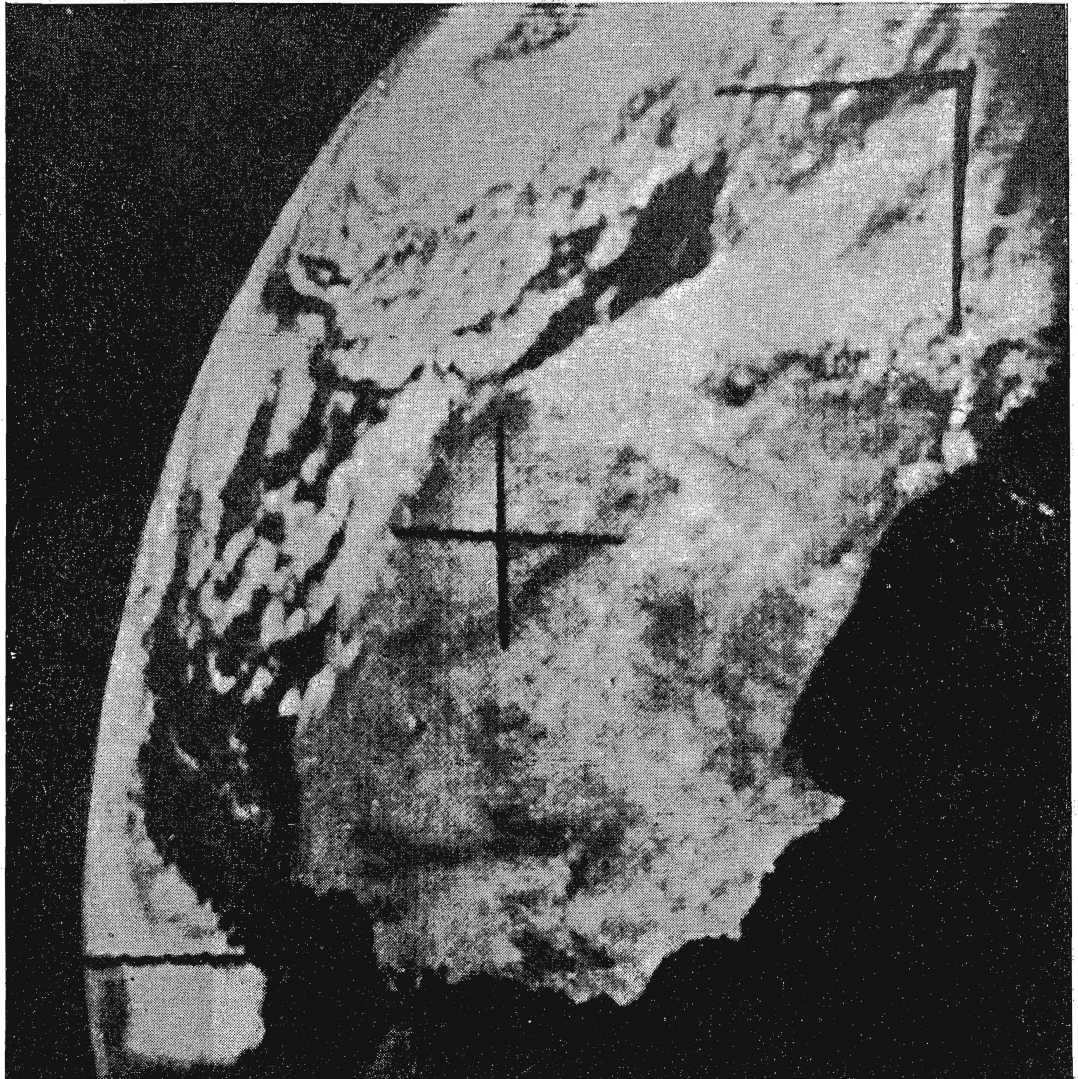


Fig. 23.

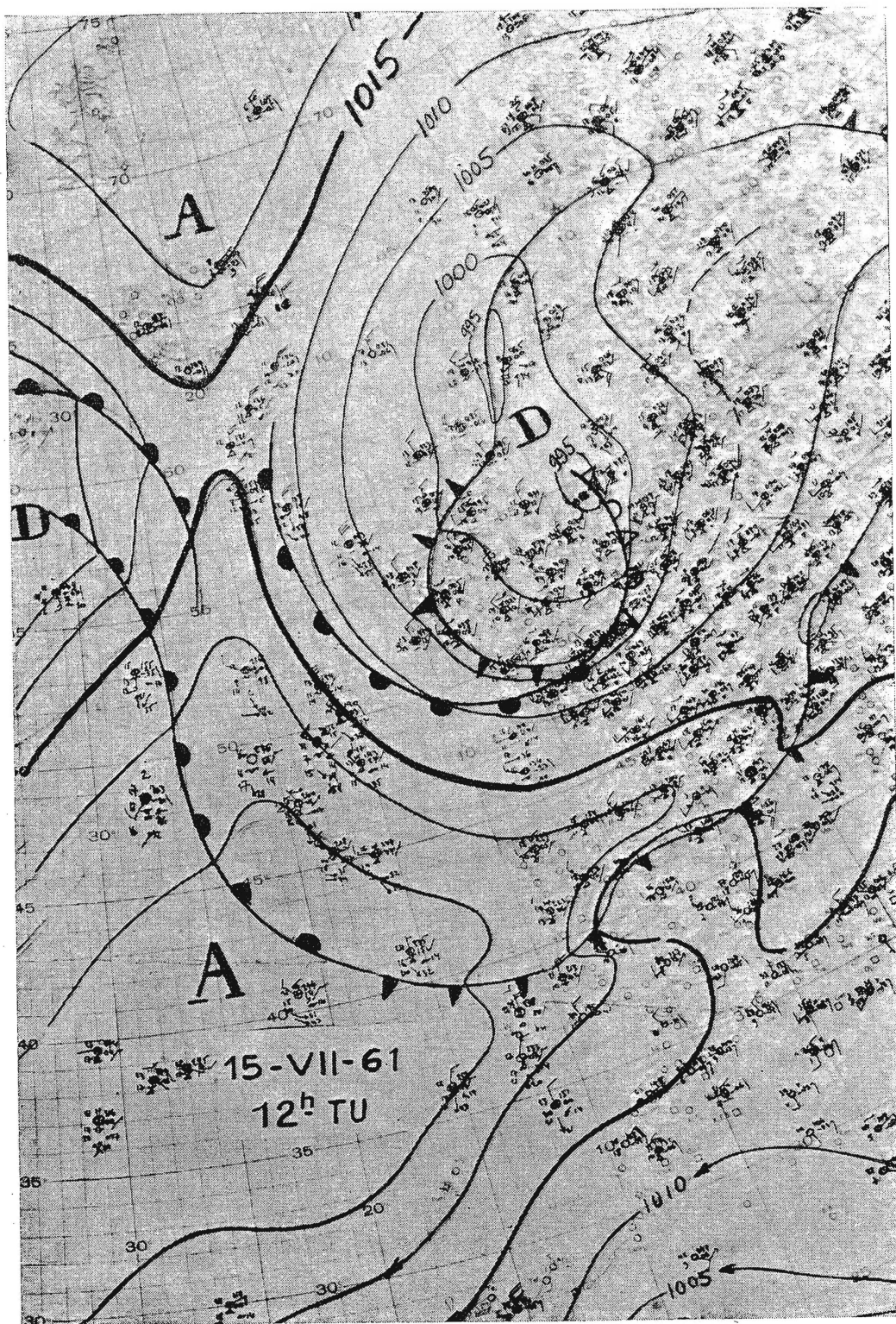


Fig. 24.

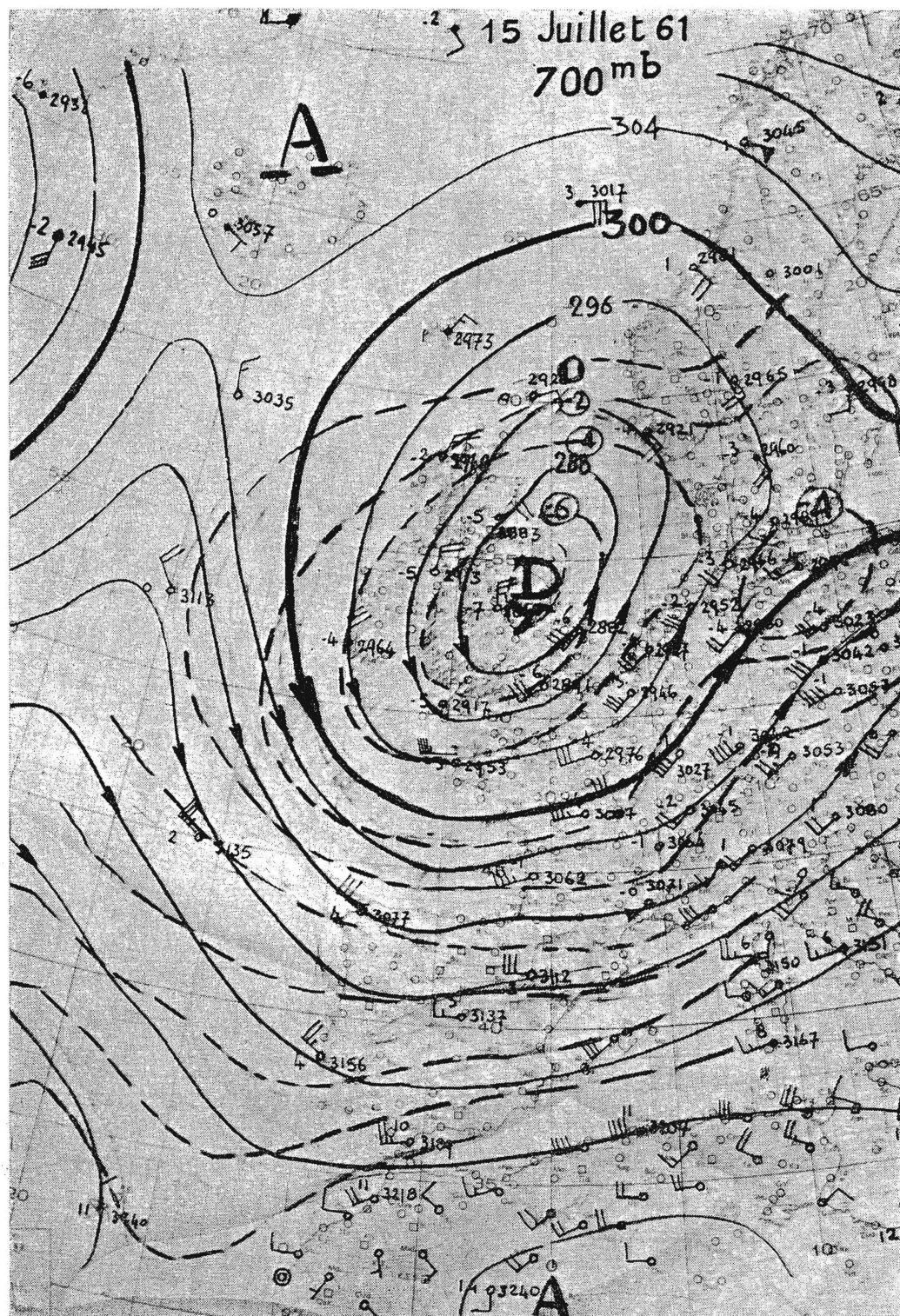


Fig. 25.



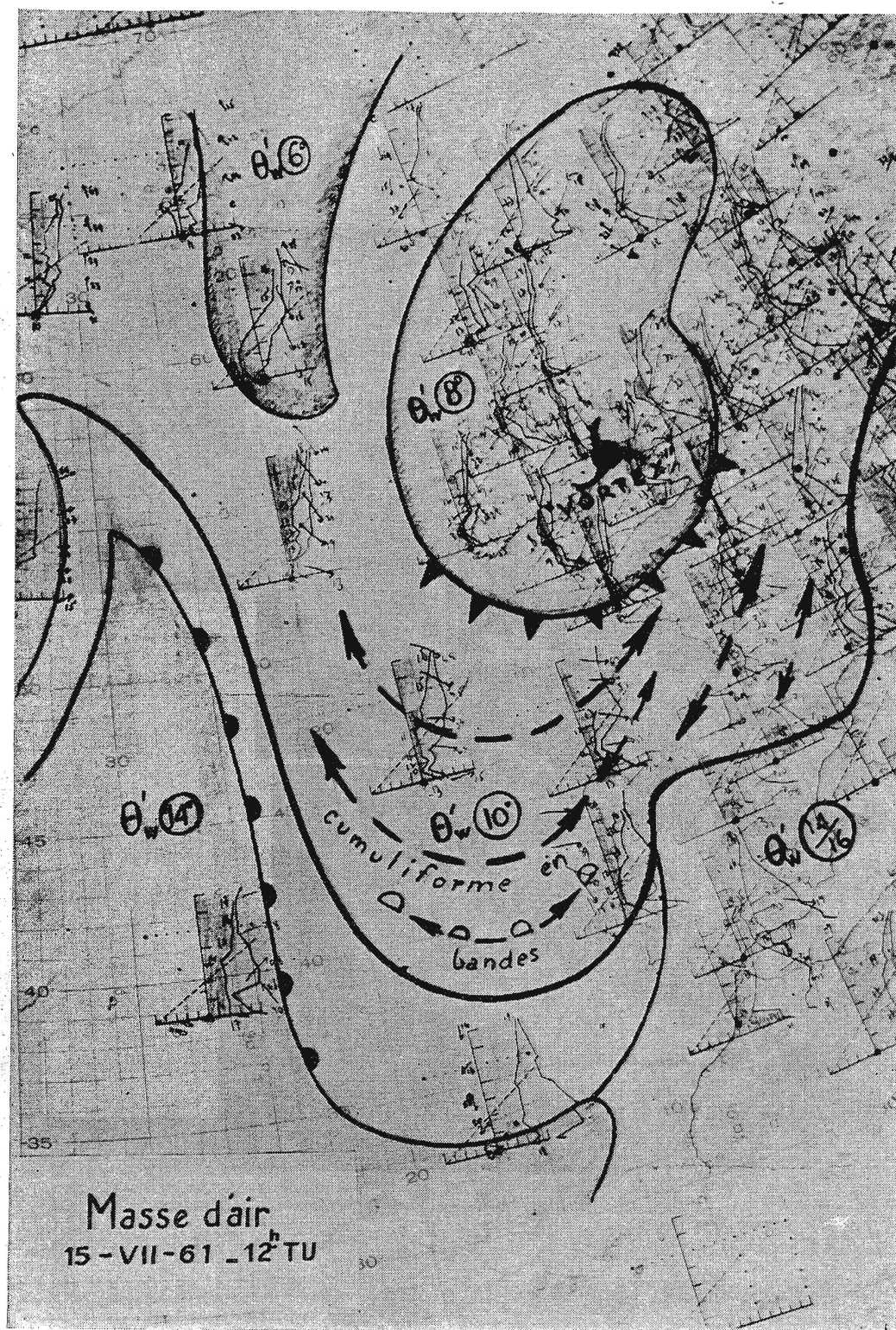
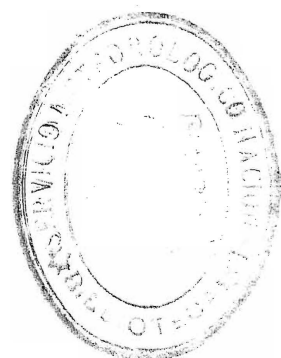


Fig. 26.



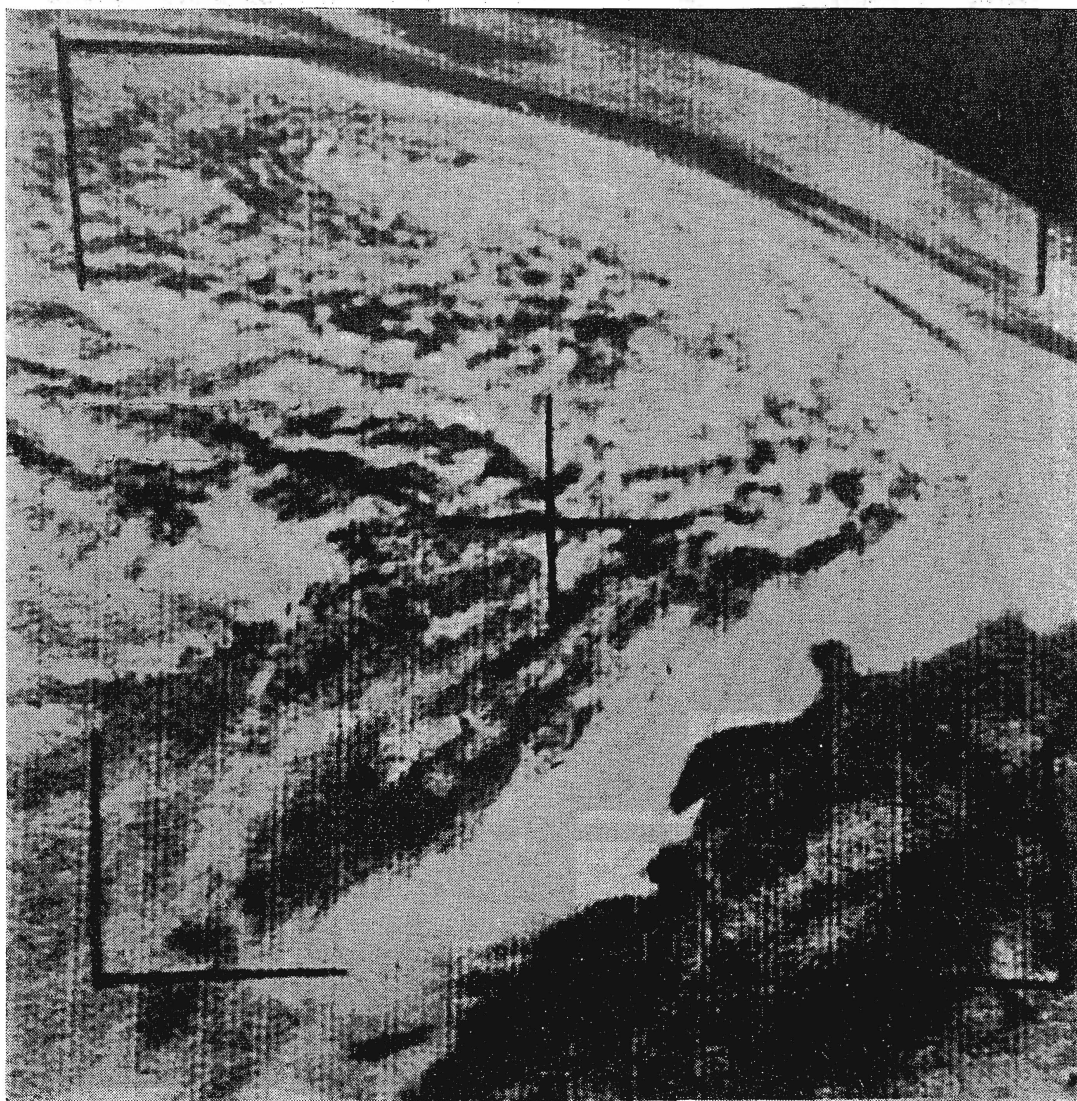


Fig. 27.



Fig. 28.







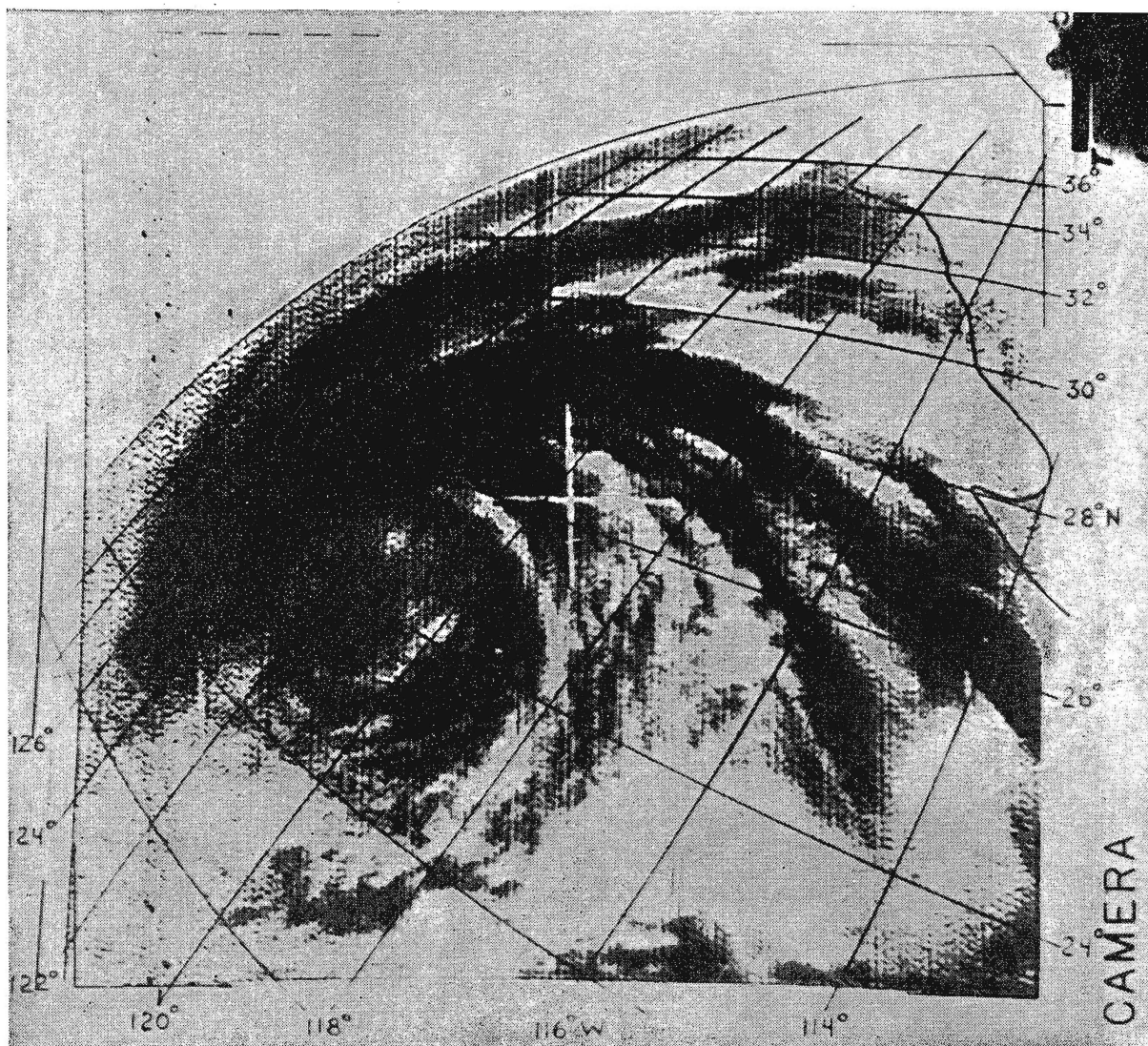


Fig. 30.

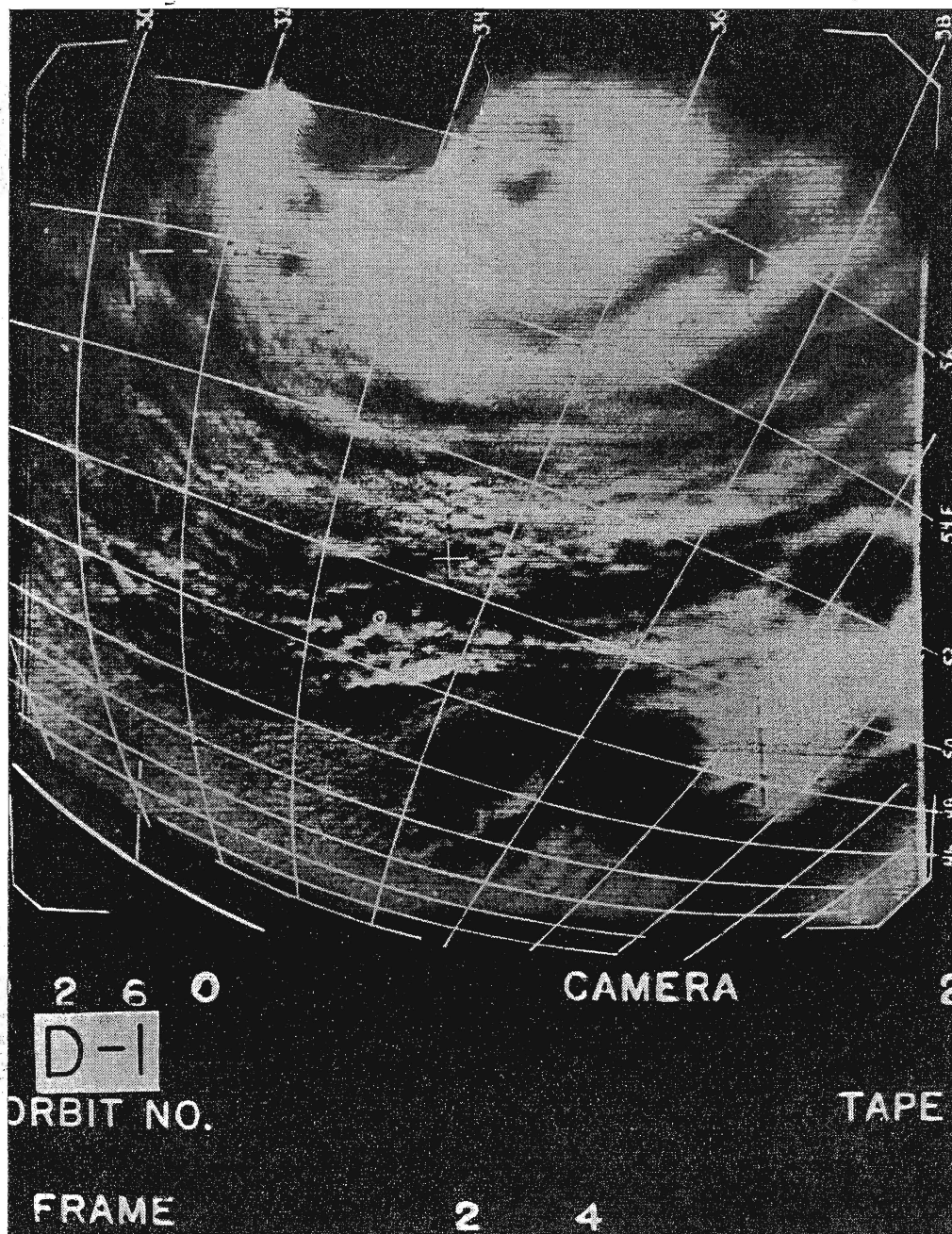


Fig. 31.

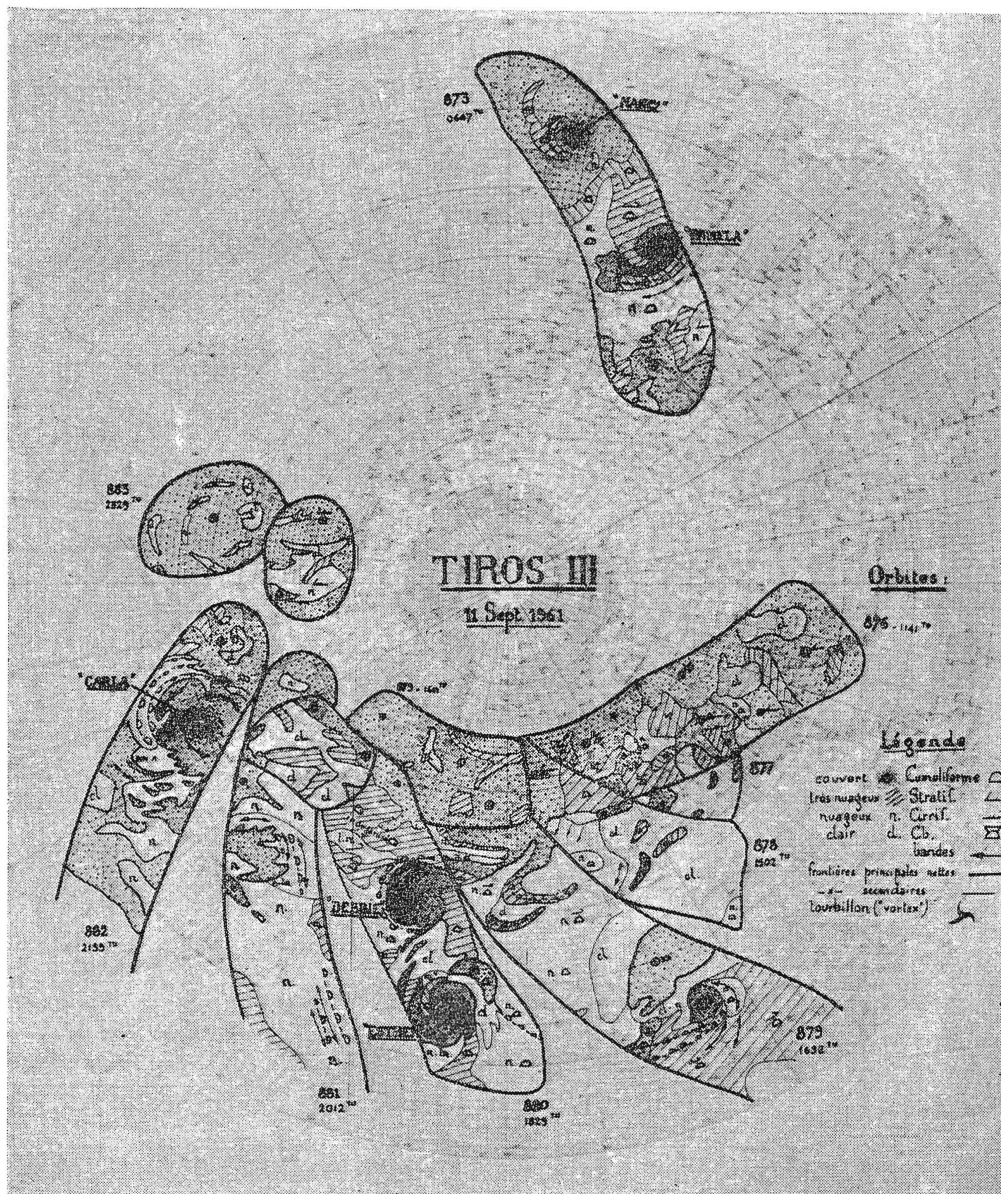


Fig. 32.

— 50 —

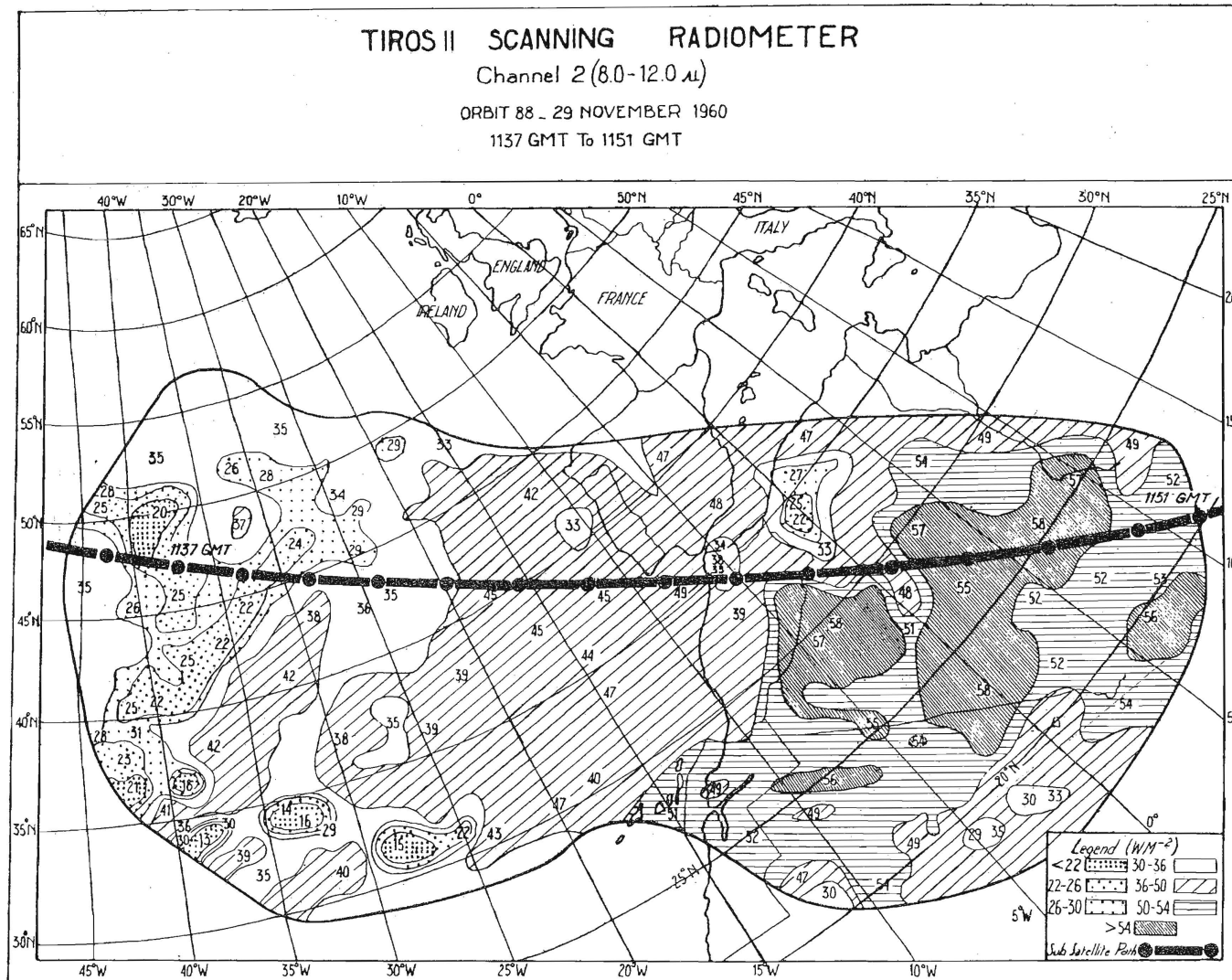


Fig. 33.